BHS I C 256 a-2

17 M

Bayerische Berg-, Hütten- und Salzwerke Aktiengesellschaft
Bibliothek:
Gruppe: I a
B Nr. 256

HANDBUCH

DER

EISENHÜTTENKUNDE.

FÜR DEN GEBRAUCH IM BETRIEBE WIE ZUR BENUTZUNG
BEIM UNTERRICHTE BEARBEITET.

VON

A. LEDEBUR,

BERGRATH UND PROFESSOR AN DER K. BERGAKADEMIE ZU FREIBERG IN SACHSEN.

ZWEITE, NEU BEARBEITETE AUFLAGE.

ZWEITE ABTHEILUNG:

DAS ROHEISEN UND SEINE DARSTELLUNG.

MIT ZAHLREICHEN ABBILDUNGEN.

BIBLIOTHEK
DER K.B. GENERAL
BERGW. U. SALINEN
ADMINISTR.

LEIPZIG,
VERLAG VON ARTHUR FELIX.
1893.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Inhaltsverzeichniss.

Zweite Abtheilung.

Das Roheisen und seine Darstellung.

Seite

I. Eigenschaften und Eintheilung des Roheisens und der Eisenmangane 325
1. Allgemeines . 325
2. Die Eigenschaften des Roheisens 326
a) Innere Anordnung 326
b) Spezifisches Gewicht 328
c) Schmelztemperatur 329
d) Härte. 329
e) Festigkeitseigenschaften 330
3. Das graue Roheisen und das Siliciumeisen 333
4. Das weisse Roheisen und das Eisenmangan 342
Literatur . 348

II. Der Hochofen . 348
1. Geschichtliches . 348
2. Die innere Form des Hochofens 350
Die verschiedenen Hochofenprofile und ihre Beziehungen zum Hochofenschmelzgange . 350
Regeln für den Entwurf des Hochofenprofiles 360
Rauminhalt 360. Verhältniss zwischen Durchmesser und Höhe 363. Gichtdurchmesser 363. Rastwinkel und Lage des Kohlensackes 364. Durchmesser vor den Formen und Höhe des Gestells 364. Anordnung der Formöffnungen 364.
3. Der Bau der Hochöfen 366
Hochöfen mit Rauhgemäuer 366
Hochöfen ohne Rauhgemäuer 370
Hochöfen mit Blechmantel 371; mit freistehendem Schachte 374.
Die Anordnung der Theile des Hochofens im Einzelnen 376
Grundmauerwerk 377. Schacht 377. Rast, Gestell, Boden 378. Offene Brust 380. Kühlungen für Windformen 384. Lage der Windformen 387. Lürmannsche Schlackenform 388. Kühlung des Roheisenstiches 391; des Tümpeleisens 391; des Gestells und der Rast 392. Menge des Kühlwassers 392. Gichtbühne 393.

Seite
4. Die Vorrichtungen zur Entziehung, Reinigung, Fortleitung und Verbrennung der Gichtgase . . . 395
Die Gasfänge . . . 397
Pfortscher Gasfang 398. Darbysches oder Centralrohr 399. Parrys Gasfang 401. Von Hoffs Gasfang 403. Langens Gasfang 405. Buderus Gasfang 407.
Die Leitungsrohre und Reinigungsvorrichtungen . . . 409
Die Verbrennungsvorrichtungen und die Esse . . . 414
Literatur . . . 416

III. Die Erzeugung, Erhitzung und Fortleitung des Gebläsewindes . . 418
1. Die Gebläse . . . 418
Allgemeines . . . 418
Die üblichsten Gebläseformen . . . 421
Liegende Gebläse 421. Schwinghebelgebläse 422. Stehende Gebläse mit doppelten Kurbelstangen oder Serainggebläse 424. Stehende Gebläse mit einer Kurbelstange oder Clevelandgebläse 425.
2. Die Regulatoren . . . 427
3. Die Winderhitzer . . . 428
Die eisernen Winderhitzer . . . 430
a) Winderhitzer mit liegenden Röhren 433. b) Winderhitzer mit hängenden Röhren 435. c) Winderhitzer mit stehenden Röhren 436.
Die steinernen Winderhitzer . . . 439
Die Whitwell-Winderhitzer und ihre Abarten 442. Die Cowper-Winderhitzer und ihre Abarten 446. Vergleich der Whitwell- und Cowper-Winderhitzer 449. Die Verschlüsse der steinernen Winderhitzer 450.
4. Die Windleitung und Windvertheilung . . . 454
Compensatoren 455. Düsenstöcke 456.
5. Spannungs- und Temperaturmessungen. Windberechnung . . . 460
a) Manometer 460. b) Pyrometer 462. c) Die Windberechnung 464.
Literatur . . . 468

IV. Die Gichtaufzüge . . . 470
a) Gichtaufzüge mit unmittelbarer Seilbewegung . . . 471
b) Wassertonnenaufzüge . . . 472
c) Hydraulische oder Wassersäulenaufzüge . . . 474
d) Pneumatische Gichtaufzüge . . . 474
Literatur . . . 476

V. Das Hochofenschmelzen . . . 477
1. Die Arbeiten beim Hochofen . . . 477
a) Das Austrocknen, Anwärmen und Anblasen . . . 477
b) Die Arbeiten während des gewöhnlichen Betriebes . . . 481
c) Arbeiten im Ofeninneren; Beseitigung von Gichtschwamm und Versetzungen . . . 487
d) Das Dämpfen und Ausblasen der Hochöfen . . . 489
2. Der chemische und physikalische Verlauf des Hochofenschmelzens . 490
a) Die allgemeinen Vorgänge im Hochofen . . . 490
b) Einfluss der Winderhitzung auf die Vorgänge im Hochofen . . 510
c) Einfluss der Windpressung und Windmenge . . . 514
d) Gaargang und Rohgang . . . 516

Seite

3. Der Betrieb auf verschiedene Roheisengattungen und die Berechnung der Beschickung 521
 a) Allgemeines . 521
 b) Die Entstehungsbedingungen der wichtigsten Roheisengattungen 523
 Siliciumeisen 523. Graues Roheisen 524. Weissstrahliges und gewöhnliches Weisseisen 527. Spiegeleisen 529. Eisenmangan 532.
 c) Die Berechnung der Beschickung 534
 Mrázeks stöchiometrisches Verfahren 536. Platzs vereinfachtes Verfahren 546.
4. Der Betrieb mit verschiedenen Brennstoffen 549
 Der Betrieb mit Koks oder Holzkohlen 549
 Der Betrieb mit Steinkohlen und Anthraziten 551
 Der Betrieb mit Braunkohlen 553
 Der Betrieb mit Torf und Torfkohle 554
 Der Betrieb mit rohem Holze 555
 Der Betrieb mit Gasen 555
5. Die Berechnung des Hochofenschmelzganges und die Wärmebilanz . 556
6. Die Betriebsergebnisse 566
 a) Roheisenerzeugung in bestimmter Zeit 567
 b) Erzsatz auf die Gewichtseinheit des Brennstoffs 569
 c) Roheisenausbringen 570
 d) Brennstoffverbrauch für 1 t Roheisen 570
 e) Selbstkosten des erzeugten Roheisens 573
Literatur . 577

VI. Die Nebenerzeugnisse des Hochofenbetriebes und ihre Verwendung 581
1. Die Gichtgase . 581
2. Die Schlacken . 582
 Verwendung zu Strassen- und Dammbauten 583. Schlackensand 583. Schlackenwolle 584. Darstellung von Cement (hydraulischem Mörtel) 586. Schlackenziegeln 588. Glasdarstellung 592.
3. Gichtschwamm . 592
4. Blei . 593
5. Gichtstaub . 593
6. Zufällige Nebenerzeugnisse 595
Literatur . 597

VII. Das Umschmelzen und die Reinigung des Roheisens 597
1. Das Umschmelzen . 597
 A. Allgemeines . 597
 B. Das Schmelzen in Tiegeln 598
 a) Die Tiegelöfen 598
 b) Das Schmelzen und die Betriebsergebnisse 602
 c) Der chemische Verlauf des Tiegelschmelzens 603
 C. Das Schmelzen in Flammöfen 604
 a) Geschichtliches 604
 b) Die Flammöfen . 605
 c) Das Schmelzen und die Betriebsergebnisse 607
 d) Der chemische Verlauf des Flammofenschmelzens 607
 D. Das Schmelzen in Kupolöfen 608

Seite
a) Geschichtliches 608
b) Die Kupolöfen . 611
Windberechnung 612. Regeln für die Abmessungen 612. Irelandkupolofen 615. Krigarkupolofen 616. Kupolofen von Greiner und Erpf 618.
c) Das Schmelzen und die Betriebsergebnisse 619
d) Der chemische Verlauf des Kupolofenschmelzens 621
2. Die Reinigung des Roheisens 626
A. Allgemeines . 626
B. Die Ausscheidung des Siliciums und Mangans 626
C. Die Entphosphorung des Roheisens 628
D. Die Entschwefelung des Roheisens 630
Literatur . 634

ZWEITE ABTHEILUNG.

DAS ROHEISEN

UND

SEINE DARSTELLUNG.

I. Eigenschaften und Eintheilung des Roheisens und der Eisenmangane.

1. Allgemeines.

Roheisen heisst jedes noch nicht zu Gebrauchsgegenständen verarbeitete Eisen, welches wegen eines grösseren Gehalts an Metalloiden, insbesondere an Kohlenstoff oder Silicium, die dem reinen Eisen eigenthümliche Dehnbarkeit und Schmiedbarkeit verloren hat. Sind neben Kohlenstoff keine anderen Körper in erheblichen Mengen zugegen, so liegt die Grenze zwischen Roheisen und schmiedbarem Eisen bei einem Kohlenstoffgehalte von etwa 2,3 Hunderttheilen; andere Metalloide (Silicium, Phosphor, Schwefel, Arsen u. a. m.) beeinträchtigen die Schmiedbarkeit theils kräftiger, theils weniger kräftig als Kohlenstoff; in jedem Falle aber hört sie schon bei einem niedrigeren Kohlenstoffgehalte als 2,3 Hunderttheilen auf, wenn solche Körper neben dem Kohlenstoff im Eisen anwesend sind.

Mit Hülfe derselben Verfahren und Vorrichtungen, welche zur Darstellung des Roheisens im engeren Sinne bestimmt sind, stellt der Eisenhüttenmann für gewisse Zwecke des Eisenhüttenbetriebes auch kohlenstoffhaltige Legirungen zwischen Eisen und Mangan dar, welche bei geringerem Mangangehalte zwar dem Roheisen zugezählt zu werden pflegen, bei höherem Mangangehalte aber Eisenmangane oder Ferromangane genannt werden, und deren Mangangehalt nicht selten höher ist als ihr Eisengehalt; ferner kohlenstoffhaltiges Siliciumeisen, welches seiner Zusammensetzung und seinen Eigenschaften gemäss ebenfalls dem Roheisen im weiteren Sinne beigezählt werden muss; ausnahmsweise auch wohl Legirungen mit Chrom und anderen Körpern.

Ist das Roheisen durch Eingiessen in Formen zu Gebrauchsgegenständen (Gusswaaren) verarbeitet, so wird es Gusseisen genannt. Die Bezeichnung als solches beruht demnach lediglich auf der Art und Weise der stattgehabten Verarbeitung, ohne dass eine Aenderung der Eigenschaften dadurch bedingt ist. Gusseisen, welches durch Abnutzung oder aus anderen Gründen unbrauchbar geworden ist, pflegt Brucheisen genannt zu werden; in Wirklichkeit ist es nichts anderes als Roheisen, und es wird wie dieses verwendet, sei es zur Herstellung von Gusswaaren durch erneutes Umschmelzen und Giessen, sei es als Material zur Darstellung schmiedbaren Eisens.

Die Eintheilung des gesammten Roheisens kann von verschiedenen Gesichtspunkten aus geschehen.

Man kann graues Roheisen, welchem seiner Zusammensetzung gemäss auch das Siliciumeisen beizuzählen ist, von dem weissen Roheisen nebst Eisenmanganen trennen. Nach der Art des für die Herstellung verwendeten Brennstoffs, welcher — besonders beim grauen Roheisen — gewisse Verschiedenheiten hervorruft, lässt sich Holzkohlenroheisen und Koksroheisen (richtiger: Roheisen, welches mit mineralischen Brennstoffen erzeugt ist) unterscheiden. Endlich kann man auch nach der beabsichtigten Verwendung des Roheisens Giessereiroheisen (zur Darstellung von Gusswaaren bestimmt) und Frischereiroheisen sondern, obgleich der Unterschied nicht ganz scharf ist. Viele Roheisenarten lassen sich für beide Zwecke benutzen, für den einen freilich meistens besser als für den anderen.

In Folgendem soll von der zuerst erwähnten Eintheilung ausgegangen werden. Eine vollständig scharfe Grenze lässt sich jedoch auch zwischen grauem und weissem Roheisen nicht ziehen. Ueberblickt man sämmtliche, unten näher gekennzeichnete Roheisenarten, so wird man finden, dass sie eine Kette bilden, als deren Endglieder das manganarme Siliciumeisen auf der einen Seite und das siliciumarme Eisenmangan auf der anderen Seite zu betrachten sind. Die Uebergänge aber finden allmählich statt, nicht allein zwischen den einzelnen Arten der beiden Gruppen, sondern auch zwischen diesen selbst. Als kennzeichnendes Merkmal des grauen Roheisens pflegt man seinen Graphitgehalt zu betrachten, dessen Entstehungsursachen auf Seite 272 besprochen wurden. Graphitreiches Roheisen besitzt nun zwar eine vollständig graue Bruchfläche; sie wird heller, wenn der Graphitgehalt abnimmt, und schliesslich erblickt man nur einzelne Graphitblätter verstreut auf weisser Bruchfläche. Die Analyse aber weist nicht selten noch einen geringen Graphitgehalt nach, wo das Auge ihn nicht mehr zu erkennen vermochte. Andererseits gewahrt man nicht selten deutliche Graphitausscheidung auf der Bruchfläche solchen Roheisens, welches als weisses Roheisen in den Handel gebracht wurde, im Wesentlichen auch die Eigenschaften und Merkmale des weissen Roheisens besitzt, aber bei seiner Entstehung zufälligen Einwirkungen preisgegeben war, welche eine mässige Graphitbildung veranlassten.

Auf die Unterschiede, welche aus der Verschiedenartigkeit des für die Darstellung des Roheisens benutzten Brennstoffs sich ergeben oder durch die abweichende Bestimmung des Roheisens bedingt sind, soll bei Besprechung der Gattungen und Arten hingewiesen werden.

2. Die Eigenschaften des Roheisens.

a) Innere Anordnung.

Als eine aus Eisen, Kohlenstoff und gewöhnlich verschiedenen anderen Körpern bestehende Legirung ist das erstarrende Roheisen wie zahlreiche andere Legirungen der Saigerung unterworfen (Seite 250). Das erkaltete Roheisen besteht daher niemals aus einer einzigen gleichartigen Masse, sondern aus verschiedenen, nebeneinander abgelagerten

Legirungen, unter Umständen Einzelkörpern, von oft erheblich abweichenden Eigenschaften. Wird das Roheisen wieder bis zum Schmelzen erhitzt, so gehen jene Bestandtheile in gegenseitige Lösung über, aus welcher sie beim abermaligen Erstarren sich wieder sondern. Die Art und Weise der Sonderung und die Zusammensetzung der gesonderten Theile hängt theils von der Zusammensetzung des Roheisens, theils von den Erstarrungsverhältnissen ab. Je rascher die Erstarrung von statten geht, desto geringer ist im Allgemeinen das Maass der stattfindenden Saigerung. Aber auch nach beendigter Erstarrung pflegt noch ein Zerfallen einzelner Körper stattzufinden; insbesondere bildet sich das Karbid und sondert sich von der Hauptmasse (Seite 275).

Ein und dasselbe Roheisen kann demnach verschiedene Eigenschaften besitzen, je nachdem es rascher oder langsamer abgekühlt wurde.

Besonders deutlich zeigen sich die Folgen jener Vorgänge beim grauen Roheisen. Jene für das Wesen des grauen Roheisens eigenthümliche Graphitbildung ist ein durch die Anwesenheit einer ausreichenden Menge Silicium (welches durch Aluminium ersetzt werden kann) bedingtes Zerfallen der Eisenkohlenstofflegirung beim Erstarren (Seite 272); und im bereits erstarrten Eisen findet noch Karbidbildung statt, sofern nicht etwa der Kohlenstoff schon vorher vollständig als Graphit ausgeschieden worden war.[1] In fast allem grauen Roheisen sind daher drei Hauptbestandtheile erkennbar: Der Graphit, schwarzgrau von Farbe, bei reichlicherem Gehalte die ganze Bruchfläche bedeckend, weich, mürbe; das Karbid, aus der auf Seite 275 besprochenen Eisenkohlenlegirung bestehend, möglicherweise aber auch noch andere Bestandtheile enthaltend, hart, spröde; die Hauptmasse, aus dem kohlenstoffarmen, bei dem Zerfallen zurückbleibenden Eisen bestehend, welches den gesammten oder doch fast gesammten Silicium-, Phosphor- und Schwefelgehalt des Eisens besitzt, auch den Mangangehalt, soweit er nicht in das Karbid übergegangen ist, wegen ihres nur geringen Kohlenstoffgehalts (Härtungskohle) weniger hart und weniger spröde als das Karbid.

Die Bestandtheile lassen sich bei Betrachtungen einer geschliffenen und schwach geätzten Bruchfläche mit dem Mikroskope unterscheiden (vergleiche die oben gegebene Abbildung Fig. 67, Seite 281); mitunter auch ohne das Mikroskop, obschon in diesem Falle weniger deutlich, bei sorgfältiger Betrachtung einer frischen Bruchfläche mit einer Lupe. Der Graphit ist in jedem Falle schon dem unbewaffneten Auge erkennkar, sofern er in einigermaassen erheblichen Mengen auftritt.

Im weissen Roheisen fehlt der Graphit; das Karbid und die Grundmasse sind nebeneinander abgelagert (Fig. 66). Die Menge des Karbids ist bedeutender als im grauen Roheisen, da wegen der unterbliebenen Graphitbildung die Menge des zur Karbidbildung verfügbaren Kohlenstoffs entsprechend reichlicher ist (vergleiche die Analysen auf Seite 280), und die Grundmasse ist reicher an Härtungskohle.

1) Der letztere Fall kommt nur bei sehr siliciumreichem Eisen, eigentlichem Siliciumeisen, vor.

Ausser diesen, das Wesen des Roheisens bedingenden Bestandtheilen finden sich zufällig entstandene Saigerungserzeugnisse in den meisten Roheisenarten. Sie treten auf in Form von Kügelchen oder Nieren in Hohlräumen, welche beim Erstarren sich gebildet hatten und in welche jene Ausscheidungen eingetreten waren; oder auf der Oberfläche als Blattern oder Wanzen (Seite 294); oder in noch anderen Formen. Die meisten dieser Aussaigerungen sind schwefel- oder phosphorreicher als das Muttereisen, dem sie entstammen; auch ihr Mangangehalt ist nicht selten beträchtlicher.[1])

Der Umstand, dass die Geschwindigkeit der Abkühlung des flüssigen Roheisens sowohl auf die Entstehung der nebeneinander sich ablagernden Körper von Einfluss ist, welche zusammen das erkaltete Roheisen bilden, als auch auf den Vorgang der Saigerung im Allgemeinen, erklärt es, dass dickere Roheisenstücke in der Mitte, wo die Abkühlung langsamer von statten ging, oft eine wesentlich andere Zusammensetzung zeigen, als am Rande. Bei grauem Roheisen nimmt der Graphitgehalt nach der Mitte hin zu, und in besonders deutlicher Weise zeigt sich der Unterschied beim Hartguss (Seite 275); der Gesammtkohlenstoff dagegen pflegt in der Mitte geringer als am Rande zu sein. Nicht selten ist der Unterschied in dem Gesammtkohlenstoffgehalte recht erheblich. So z. B. enthielt eine von mir untersuchte Massel tiefgrauen Roheisens aus Bilbao

	Gesammtkohlenstoff	Silicium	Mangan	Phosphor	Schwefel
Am Rande . . .	3,97	3,65	1,58	0,02	0,03
In der Mitte . .	3,41	3,68	1,32	0,01	0,02

und fast gleich grosse Unterschiede zeigen die bereits auf Seite 274 mitgetheilten Analysen.

In den erwähnten Fällen zeigt nur der Kohlenstoffgehalt deutliche Abweichungen; mitunter lassen sich jedoch auch in dem Gehalte an den übrigen Bestandtheilen Unterschiede wahrnehmen. Phosphorreiches Roheisen (Thomasroheisen) besitzt häufig am Rande einen höheren Phosphorgehalt als in der Mitte[2]); auch der Mangan- und Siliciumgehalt ist nicht immer gleich.

Der Umstand verdient besonders bei Entnahme von Proben für die Analyse des Roheisens Beachtung.

b) Spezifisches Gewicht.

Bei der Graphitbildung dehnt sich das Roheisen aus, daher ist graues Roheisen durchschnittlich leichter als weisses, und mit zunehmendem Graphitgehalte nimmt sein spezifisches Gewicht ab. Während sehr graphitreiches Roheisen oft kein grösseres spezifisches Gewicht als 7,0 besitzt, steigt dieses im graphitärmeren, aber noch deutlich grauen Roheisen auf etwa 7,2 und beim weissen Roheisen auf 7,6.

1) Analysen einzelner solcher Ausscheidungen sind bereits auf Seite 294 mitgetheilt; vergleiche ferner Ledebur, Handbuch der Eisen- und Stahlgiesserei, 2. Auflage, Weimar 1892, Seite 33, 35, 36; Ledebur, Das Roheisen, 3. Auflage, Leipzig 1891, Seite 10, und die unten gegebenen Literaturnachweise.

2) Analysen: „Stahl und Eisen“ 1887, Seite 22.

c) Schmelztemperatur.

Während der Gehalt des Roheisens an Fremdkörpern zunimmt, sinkt im Allgemeinen dessen Schmelztemperatur. Der Einfluss einzelner dieser Körper, des Kohlenstoffs, Siliciums, Phosphors u. a., auf die Schmelztemperatur wurde schon in der ersten Abtheilung der Eisenhüttenkunde besprochen. Der Kohlenstoffgehalt aber vermag einen Einfluss nur dann zu üben, wenn er mit dem Eisen legirt ist; Graphit wird erst von dem schmelzenden Eisen gelöst. Je mehr Graphit beim vorausgegangenen Erstarren gebildet worden war, desto kohlenstoffärmer ist das neben dem Graphit zurückgebliebene Eisen, desto höher liegt seine Schmelztemperatur. Aus diesem Grunde besitzt graues Roheisen durchschnittlich eine höhere Schmelztemperatur als weisses. Pouillet[1]) fand als Schmelztemperaturen verschiedenen Weisseisens 1050 bis 1100° C., des Graueisens 1100 bis 1200° C.; Osmond[2]) bestimmte mit genauen Vorrichtungen die Schmelztemperatur eines Weisseisens mit 4,1 Hunderttheilen Kohlenstoff, 0,22 Hunderttheilen Silicium, 0,12 Hunderttheilen Mangan, 0,02 Hunderttheilen Phosphor und fand 1085° C.; Le Chatelier[3]) fand für graues Roheisen 1220° C.

Durchschnittlich kann man demnach für weisses Roheisen 1050°, für graues Roheisen 1200° C. annehmen; aber die besondere chemische Zusammensetzung ist für jeden einzelnen Fall maassgebend. Rasch erstarrtes und deshalb graphitärmer gewordenes graues Roheisen schmilzt in niedrigerer Temperatur als wenn es langsam abgekühlt worden war und infolge davon reicheren Graphitgehalt ausgeschieden hatte. Silicium erniedrigt nach Früherem die Schmelztemperatur, aber sein Einfluss ist nicht erheblich. Mangan in grösseren Mengen erhöht sie; ein geringerer Mangangehalt (bis 3 Hunderttheile) scheint den entgegengesetzten Einfluss auszuüben.

Bei der Verwendung des Roheisens für die Giesserei spielt auch der Flüssigkeitsgrad im geschmolzenen Zustande — die Dünnflüssigkeit — eine Rolle. Silicium, Mangan und vor allem Phosphor machen das Roheisen dünnflüssig; Schwefel erzeugt schon in kleinen Mengen einen dickflüssigen Zustand.[4])

d) Härte.

Von den drei besprochenen Hauptbestandtheilen des Roheisens ist der Graphit weich, mürbe; das Karbid ziemlich hart; die Haupt- oder Grundmasse um so härter, je kohlenstoffreicher sie ist. Bei geringem Kohlenstoffgehalte im grauen Roheisen ist sie weniger hart als das Karbid, bei grösserem Kohlenstoffgehalte härter als dieses.

1) Comptes rendus, tome III, p. 789.

2) F. Osmond, Transformations du fer et du carbone, Paris 1888, p. 24 et 28.

3) Berg- und hüttenm. Ztg. 1892, Seite 178.

4) Versuche über den Einfluss des Schwefels: „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 311, Spalte 2; von Kerpely, Ungarns Eisensteine und Eisenhüttenerzeugnisse, Seite 65. Auch die Beobachtung im Giessereibetriebe lässt nicht selten diesen Einfluss erkennen.

Daher ist graues Roheisen verhältnissmässig weich und lässt sich mit schneidenden Werkzeugen — Feile, Meissel, Dreh- oder Hobelstahl — ohne Schwierigkeit bearbeiten. Je mehr sein Graphitgehalt abnimmt, desto härter wird es; weisses Roheisen pflegt, wenn sein Gesammtkohlenstoffgehalt nicht über 3 Hunderttheile beträgt, noch durch sehr harten Stahl angegriffen zu werden, widersteht aber vollständig bei höherem Kohlenstoffgehalte.

Rasche Abkühlung erhöht, zumal beim grauen Roheisen, den Härtegrad (Anwendung beim Hartguss), anhaltendes Ausglühen, wobei aus der Karbid- und Härtungskohle Temperkohle entsteht (Seite 277), verringert sie. Selbst Weisseisen lässt sich durch dieses Mittel in einen bearbeitungsfähigen Zustand versetzen.

Mangan und Chrom erhöhen die Härte des Roheisens, theils unmittelbar, theils durch Verhinderung der Graphitbildung. Silicium vermag nur bei sehr reichlichem Gehalte eine merkbare Härtesteigerung hervorzurufen; in den geringeren Mengen, welche im gewöhnlichen Graueisen auftreten, hat seine Anwesenheit den entgegengesetzten Erfolg, indem der Kohlenstoffgehalt dadurch zur Graphitbildung veranlasst wird.

Phosphor in den Gewichtsmengen, welche im Roheisen vorkommen können, ist ohne bemerkbaren Einfluss. Ebenso Schwefel.

e) Die Festigkeitseigenschaften.

Als Festigkeitseigenschaften kommen hier vornehmlich theils die eigentliche Festigkeit, d. h. die Widerstandsfähigkeit gegenüber ruhiger Belastung (Zug, Druck u. s. w.), theils die Widerstandsfähigkeit gegen Stösse und Erschütterungen in Betracht, welche letztere man als Zähigkeit — im Gegensatze zur Sprödigkeit — zu bezeichnen pflegt. Erstere wird durch den unmittelbaren Versuch ermittelt; als Maassstab für die Zähigkeit benutzt man entweder die bei der Prüfung auf Festigkeit eintretenden Formveränderungen [1]) oder unmittelbare Schlagversuche.

In jedem Falle ist diese Zähigkeit beim Roheisen ziemlich unbedeutend; es ist ein sprödes Material. Dennoch lassen sich deutliche Unterschiede bei verschiedenen Arten wahrnehmen, und dieser Umstand verdient Beachtung bei der Benutzung des Roheisens für Gusswaarenerzeugung.

Sonstige Festigkeitseigenschaften: Elasticitätsmodul, Elasticitätsgrenze u. a. können hier, da sie beim Roheisen geringere Bedeutung besitzen und geringeren Schwankungen unterliegen als beim schmiedbaren Eisen, ausser Betracht bleiben.[2])

Die Festigkeitseigenschaften sind theils von der Beschaffenheit des Gefüges, theils von der chemischen Zusammensetzung abhängig.

Je grösser die Absonderungsflächen des Gefüges sind, d. h. je

1) Je stärker die eintretende Formveränderung ist, desto mehr mechanische Arbeit wird dabei verbraucht, desto geringer ist die Gefahr für den Bruch.

2) Einiges Nähere hierüber enthalten die von mir bearbeiteten Werke: Eisen und Stahl in ihrer Anwendung für bauliche und gewerbliche Zwecke, Berlin 1890, Seite 23; Das Roheisen, 3. Auflage, Leipzig 1891, Seite 48; Handbuch der Eisen- und Stahlgiesserei, 2. Auflage, Weimar 1892, Seite 52.

grobkörniger oder grossblättriger dieses ist, desto leichter findet Trennung statt, desto weniger fest und zugleich weniger zäh ist das Eisen. Feinkörniges Eisen pflegt sich daher bei der Beanspruchung auf Festigkeit am günstigsten zu verhalten.

Ein geringer Gehalt an Härtungskohle erhöht nach Früherem die Festigkeit, ein grösserer Gehalt verringert sie, und in starkem Maasse wird die Sprödigkeit durch einen grösseren Gehalt an Härtungskohle gesteigert. Daher ist graues Roheisen durchschnittlich fester und weniger spröde als weisses; der Unterschied würde noch beträchtlicher sein, wenn nicht der Graphitgehalt des grauen Roheisens, indem er den Zusammenhang der festen Eisenmasse unterbricht, die Festigkeit und Zähigkeit abminderte. Sehr graphitreiches Roheisen ist daher niemals sehr fest. Gusseisensorten — nur beim Gusseisen besitzen die Festigkeitseigenschaften thatsächliche Bedeutung —, welche sich durch günstiges Verhalten bei der Beanspruchung auf Festigkeit und Stossfestigkeit auszeichnen, pflegen nicht mehr als 3 Hunderttheile Graphit bei 3,5 Hunderttheilen Gesammtkohlenstoff und nicht weniger als 2 Hundertheile Graphit bei 2,6 Hunderttheilen Gesammtkohlenstoff zu enthalten, so dass ihr Gehalt an Härtungs- und Karbidkohle zusammen 0,4 bis 0,7 Hunderttheile beträgt.

Ein mässiger Siliciumgehalt ist nothwendig, um Graphitbildung zu veranlassen; ein sehr hoher Siliciumgehalt wirkt um so deutlicher nachtheilig auf die Festigkeit wie auf die Zähigkeit ein, je mehr Kohlenstoff neben dem Silicium zugegen ist. Durch Festigkeit und ein geringes Maass von Sprödigkeit ausgezeichne tesGusseisen pflegt nicht mehr als 3 und nicht weniger als 1 Hunderttheil Silicium zu enthalten.

Mangan in kleineren Mengen als 1,5 Hunderttheile vermag zwar in geringem Maasse die Festigkeit zu erhöhen, aber auf Kosten der Zähigkeit; ein höherer Mangangehalt wirkt auf beide Eigenschaften nachtheilig.

Phosphor verringert, sofern sein Gehalt ein ziemlich niedriges Maass überschreitet, merklich die Festigkeit und in noch weit stärkerem Maasse die Zähigkeit. Das Eisen wird spröde. Je mehr Härtungskohle das Eisen enthält, desto stärker ist das Maass dieses Einflusses; in graphitreicherem Eisen tritt daher der Einfluss weniger deutlich als in graphitärmerem zu Tage. Auch ein Mangangehalt erhöht den Einfluss des Phosphors. Der Umstand aber, dass man an die Festigkeitseigenschaften des Gusseisens, insbesondere seine Zähigkeit, ohnehin nicht jene Ansprüche stellen darf, wie an die des schmiedbaren Eisens, erklärt es zum Theil, dass Gusseisen weit mehr Phosphor als letzteres enthalten kann, ohne unbrauchbar zu werden. Man findet Gusseisensorten mit einem Phosphorgehalte von 1,5 Hunderttheilen oder noch etwas darüber; sie sind zwar spröder als phosphorärmeres Gusseisen, lassen sich aber für gewöhnliche Zwecke, wo jene grössere Sprödigkeit weniger von Belang ist, ohne Nachtheil benutzen. Soll das Gusseisen dagegen baulichen Zwecken dienen, wobei ein allzu sprödes Material gefahrbringend sein würde, so pflegt man 1 Hunderttheil Phosphor als den höchsten zulässigen Gehalt zu betrachten; und bei übrigens gleichbleibender Zusammensetzung wird das Gusseisen im Allgemeinen

durch um so grössere Festigkeit und insbesondere Widerstandsfähigkeit gegen Erschütterungen sich auszeichnen, je niedriger sein Phosphorgehalt ist.[1])

Alle übrigen zufälligen Begleiter des Eisens — Schwefel, Arsen, Antimon, Kupfer, Titan u. a. m. — vermögen zwar in geringen Mengen mitunter die Festigkeit bei ruhiger Belastung etwas zu steigern, erhöhen aber auch stets die Sprödigkeit; und wenn auch der Gehalt jedes einzelnen dieser Körper nur sehr unbedeutend sein sollte, so vermögen sie doch durch ihr Zusammenwirken, wenn ihre Zahl entsprechend gross ist, nicht selten eine deutliche Einwirkung hervorzubringen. Man pflegt deshalb das von solchen Begleitern reinste Roheisen als das vorzüglichste bei der Beanspruchung auf Festigkeit zu betrachten, und hieraus erklärt sich das Uebergewicht, welches das mit Holzkohlen erblasene Roheisen für die in Rede stehenden Verwendungen vor dem mit mineralischen Kohlen erblasenen zu besitzen pflegt, sofern die sonstige Zusammensetzung, insbesondere der Gehalt an Kohlenstoff, Silicium, Mangan und Phosphor, nicht sehr verschieden ist. Holzkohlenroheisen pflegt in niedrigerer Temperatur zu erfolgen, in welcher weniger Gelegenheit zur Aufnahme jener Fremdkörper gegeben ist.

Auch der Verlauf der Abkühlung des erstarrenden Metalls ist von Einfluss auf seine Festigkeitseigenschaften. Je langsamer die Erstarrung sich vollzieht, desto grösser pflegen die Absonderungsflächen des Gefüges auszufallen, und desto reichlicher ist im grauen Roheisen die Graphitbildung. Daher pflegen insbesondere solche Eisensorten, welche zur starken Graphitbildung neigen, also reich an Silicium und Kohlenstoff sind, ungünstiger sich zu verhalten, wenn sie langsam als wenn sie rasch abgekühlt wurden. Gussstücke von beträchtlichen Abmessungen aus derartigem Materiale zeigen gewöhnlich eine geringe Festigkeit, da die Abkühlung langsam von statten ging. Umgekehrt wird siliciumarmes Eisen, welches wegen seines niedrigen Siliciumgehalts nur geringe Neigung zur Graphitbildung besitzt, bei allzu rascher Abkühlung leicht spröde und verliert an Festigkeit; sein Gehalt an Härtungskohle fällt zu beträchtlich aus. Hier kann eine künstlich verlangsamte Abkühlung oder auch ein späteres Ausglühen zur Verbesserung der Eigenschaften beitragen.

Als durchschnittliche Druckfestigkeit grauen, für die Giesserei benutzten Roheisens (Gusseisens) pflegt man 70 kg auf 1 qmm Querschnitt, als durchschnittliche Zugfestigkeit 12 kg, als durchschnittliche Biegungsfestigkeit quadratischer Stäbe 25 kg anzunehmen. Die Ziffern beziehen sich auf unbearbeitete Gussstücke; bearbeitete Gegenstände, deren äussere Kruste (Gusshaut) entfernt wurde, besitzen eine um etwa 10 Hunderttheile höhere Festigkeit.[2])

Im Uebrigen zeigen die verschiedenen Prüfungsergebnisse recht erhebliche Abweichungen, welche theils durch die Verschiedenheit der chemischen Zusammensetzung, theils durch die Abkühlungsverhältnisse, theils auch durch die Grösse und die Querschnittsform der gewählten Proben bedingt sind. Längere Stäbe, auf Druckfestigkeit geprüft, zeigen

1) Näheres hierüber: Ledebur, Das Roheisen, 3. Auflage, Seite 51.

2) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1889, Seite 141; „Stahl und Eisen" 1890, Seite 603; Ledebur, Das Roheisen, 3. Auflage, Seite 54.

ein niedrigeres Maass dieser Eigenschaft als kürzere; bei der Prüfung auf Biegungsfestigkeit aber können Unterschiede in der Querschnittsform des Probestücks ganz erhebliche Abweichungen der Festigkeitsziffern bedingen. Bach fand bei dem gleichen Materiale, aber verschiedenen Querschnittsformen, Schwankungen der Biegungsfestigkeit von 19,8 kg bis 32,2 kg auf 1 qmm.[1])

Unter ungünstigen Verhältnissen kann die Festigkeit auf weniger als die Hälfte der oben angegebenen Ziffern sinken, unter besonders günstigen Verhältnissen auf fast das doppelte Maass steigen.

Gering ist, wie schon oben erwähnt, in jedem Falle die Formveränderung, welche die beanspruchten Proben vor dem Bruche erleiden, und welche in gewissem Sinne als Maassstab für die Zähigkeit dienen kann. Nähere Angaben hierüber findet der Leser in den schon genannten Werken.

Ziemlich grosse Abweichungen zeigt auch das Verhalten des weissen Roheisens bei der Beanspruchung auf Festigkeit; durchschnittlich aber ist, wie schon erläutert wurde, seine Festigkeit geringer und seine Sprödigkeit bedeutend grösser als die des grauen Roheisens. Für die Herstellung gegossener Gebrauchsgegenstände (Gusswaaren) findet daher nur das letztere unmittelbare Verwendung.

3. Das graue Roheisen und das Siliciumeisen.

Alles unmittelbar aus Erzen gewonnene graue Roheisen enthält, wie schon mehrfach hervorgehoben wurde, als wesentliche Bestandtheile Eisen, Kohlenstoff und Silicium.[2]) Ein Siliciumgehalt ist nothwendig, weil ohne diesen keine Bildung von Graphit, dieses das Wesen des grauen Roheisens bedingenden Körpers, stattfindet; entzieht man dem grauen Roheisen seinen Siliciumgehalt (z. B. durch Schmelzen unter solchen Einflüssen, dass das Silicium, nicht aber der Kohlenstoff verbrannt wird), so verwandelt es sich in weisses Roheisen. Der Vorgang (Feinen des Roheisens) findet mitunter Anwendung im Betriebe und wird am Schlusse dieser Abtheilung der Eisenhüttenkunde ausführlicher besprochen werden.

Der Siliciumgehalt des eigentlichen grauen Roheisens kann von 0,5 bis 5 Hunderttheilen schwanken und steigt im Siliciumeisen bis auf 16 Hunderttheile. Je weniger Mangan und je mehr Kohlenstoff neben dem Silicium zugegen ist, desto niedriger braucht der zur Graphitbildung erforderliche Siliciumgehalt zu sein. Eisen mit 3 Hunderttheilen Kohlenstoff neben 0,5 Hunderttheilen Silicium ist weiss, sofern es nicht etwa sehr langsam abgekühlt wurde; bei 4 Hunderttheilen Kohle neben dem gleichen Siliciumgehalte als in jenem Falle wird, wenn nicht etwa Mangan in reichlicheren Mengen zugegen ist,

1) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1888, Seite 198; daraus Ledebur, Das Roheisen, Seite 58.

2) Der Ausdruck „unmittelbar aus Erzen gewonnen" ist hier gewählt worden, weil sich durch Zusatz von Aluminium zu weissem Roheisen ebenfalls graues Roheisen erzeugen lässt, wie aus Früherem sich ergiebt. Das zugesetzte Aluminium vertritt in diesem Falle das Silicium (Seite 273).

gewöhnlich schon Graphitbildung bemerkbar werden, und der Graphitgehalt wird zunehmen, wenn auch der Siliciumgehalt steigt. Ebenso kann das Roheisen bei nur 3 Hunderttheilen und selbst noch weniger Kohlenstoff Graphitbildung zeigen, wenn daneben 2 oder mehr Hunderttheile Silicium anwesend sind.

Mangan wirkt der Graphitbildung entgegen und kann schon aus diesem Grunde nicht in sehr erheblichen Mengen anwesend sein. Da ein reichlicher Mangangehalt des grauen Roheisens dessen Brauchbarkeit für Gusswaarendarstellung verringert, indem er die Sprödigkeit erhöht, Neigung zur Gasentwickelung hervorruft, auch die Schwindung der Abgüsse beim Erkalten vergrössert, sucht man für Erzeugung von Giessereiroheisen Erze zu verwenden, deren Mangangehalt nicht beträchtlich ist. Gutes Giessereiroheisen enthält nicht über 1,5 Hunderttheile Mangan, häufig weniger. Im Frischereiroheisen dagegen (insbesondere Bessemerroheisen) findet man bis 5 Hunderttheile Mangan, neben denen alsdann mindestens 2,5 Hunderttheile Silicium anwesend zu sein pflegen.

Der Phosphorgehalt des grauen Roheisens hängt von dem der benutzten Erze ab; sehr phosphorreiche Erze jedoch pflegt man nicht sowohl zur Graueisendarstellung als vielmehr zur Weisseisendarstellung zu benutzen, weil phosphorreiches Graueisen weniger gut als phosphorreiches Weisseisen Verwendung findet (Thomasverfahren, in der dritten Abtheilung besprochen). Giessereiroheisen enthält bis 1,8 Hunderttheile Phosphor (Lothringer und Luxemburger aus Minetten erzeugtes Giessereiroheisen; Englisches pflegt etwa 1,5 Hunderttheile, Schottisches 0,7 bis 1,0 Hunderttheil zu enthalten); je höher der Phosphorgehalt ist, desto niedriger muss der Mangangehalt sein, damit das Roheisen für Gusswaarenerzeugung brauchbar sei. Graues Frischereiroheisen für das Bessemerverfahren darf nicht mehr als etwa 0,1 Hunderttheil Phosphor enthalten.

Schwefel findet sich durchschnittlich in grösseren Mengen im grauen Holzkohlenroheisen als im grauen Koksroheisen. Diese im ersten Augenblicke sehr auffällige Erscheinung findet ihre genügende Erklärung in dem Umstande, dass man bei Erzeugung des Koksroheisens in Rücksicht auf den Schwefelgehalt der Koks stärker basische, insbesondere kalkreichere Schlacken zu bilden gezwungen ist, als beim Holzkohlenbetriebe; letzterer ermöglicht nicht einmal die Bildung jener kalkreichen Schlacken, da sie in der durchschnittlich niedrigeren Temperatur der Holzkohlenöfen nur schwierig schmelzen würden. Die kalkreicheren Schlacken aber nehmen den weit grösseren Schwefelgehalt der Beschickung der Kokshochöfen vollständiger auf, als die kalkärmeren den geringeren Schwefelgehalt in den Holzkohlenöfen (vergleiche Seite 291). Selten steigt daher beim grauen Koksroheisen der Schwefelgehalt über 0,04 Hunderttheile[1]; im Holzkohlenroheisen findet man bisweilen 0,1 Hunderttheil oder noch etwas darüber. Die früher (Seite 273) geschilderten Einflüsse des Schwefels auf die Kohlenstoffaufnahme und Graphitbildung erschweren indess die Entstehung von Graueisen mit zuneh-

1) In älteren Analysen findet man zwar mitunter wesentlich höhere Schwefelgehalte angegeben; es ist jedoch nicht zu bezweifeln, dass in diesen Fällen Analysenfehler vorliegen.

mendem Schwefelgehalte immer mehr; statt des Graueisens pflegt Weisseisen zu entstehen, wenn der Schwefelgehalt erheblich über jenes Maass steigt.

Der Gehalt des grauen Roheisens an Kupfer, Nickel, Arsen, Antimon hängt von dem Gehalte der Erze an diesen Körpern ab und bewegt sich innerhalb der schon früher angegebenen Grenzen. Wünschenswerth ist für alle Verwendungen des grauen Roheisens ein möglichst geringer Gehalt an diesen Körpern.

Dass manche schwer reducirbare Körper (Titan, Vanadium, vermuthlich auch Kalium u. a. m.) leichter bei dem Betriebe mit Koks als mit Holzkohlen aufgenommen werden, dass Holzkohlenroheisen aus diesem Grunde durchschnittlich reiner von Fremdkörpern und für gewisse Zwecke vortreff licher sei, wurde schon oben erwähnt.

Da der Siliciumgehalt des grauen Roheisens dessen kennzeichnendes Unterscheidungsmerkmal in chemischer Beziehung vom weissen Roheisen bildet, darf man vom chemischen Standpunkte aus das siliciumreichste Eisen, das eigentliche Siliciumeisen, als die vollkommenste Form des grauen Roheisens betrachten. Im Einklange hiermit steht der Umstand, dass im Handel das siliciumreichste Eisen am höchsten bezahlt zu werden pflegt; denn mit dem Siliciumgehalte, welchen das Roheisen bei seiner Erzeugung aufnimmt, wächst der erforderliche Brennstoffverbrauch und verringert sich die Erzeugungsfähigkeit des Schmelzofens. Die Gründe hierfür werden bei Besprechung der Schmelzvorgänge ausführlichere Besprechung finden. Dem Auge freilich erscheint ein sehr siliciumreiches Eisen keineswegs als die vollkommenste Form eines grauen Roheisens im eigentlichen Sinne. Denn mit zunehmendem Siliciumgehalte nimmt der Kohlenstoffgehalt ab, und das Roheisen wird infolge davon graphitärmer, wenn der Siliciumgehalt erheblich über 3 Hunderttheile hinausgeht (Seite 270). Mit abnehmendem Graphitgehalte aber muss die Farbe der Roheisenbruchfläche lichter werden, und somit das äussere Merkmal des grauen Roheisens an Deutlichkeit einbüssen.

So lange man eigentliches Siliciumeisen nicht absichtlich darstellte und überhaupt die Bedeutung des Siliciums im grauen Roheisen nicht kannte — und diese Zeit liegt nicht sehr weit zurück —, pflegte man bei der Eintheilung des grauen Roheisens, insbesondere des Koksroheisens, von der Anschauung auszugehen, dass das graphitreichste Roheisen allgemein das werthvollste sei und dass für die Höhe des Graphitgehalts die mehr oder minder grobkörnige Beschaffenheit der Bruchfläche als maassgebend betrachtet werden könne. Je grobkörniger die Bruchfläche war, für desto graphitreicher und deshalb werthvoller hielt man das Roheisen, desto höher bezahlte man es. Man gab daher dem Roheisen Nummern gemäss dem Aussehen seiner Bruchfläche und bezeichnete mit Nr. I das am stärksten grobkörnige und dem Ansehen nach graphitreichste, mit Nr. V das am wenigsten grobkörnige, graphitarme, dem weissen Roheisen am nächsten stehende. Noch jetzt ist diese Eintheilung im Handel üblich[1]), obgleich jeder wissenschaftlich

1) Eisenwerke, welche phosphorreiches Giessereiroheisen darstellen (Lothringer, Luxemburger, Englische Werke), pflegen bei ihrer Eintheilung mit Nr. III zu be-

gebildete Eisenhüttenmann weiss, dass das Aussehen der Bruchfläche keineswegs geeignet ist, als zuverlässiges Merkmal für den eigentlichen Werth des grauen Roheisens zu dienen. Denn dieser Werth ist in erster Reihe durch seinen Siliciumgehalt, nicht durch seinen Graphitgehalt bedingt. Ein Roheisen mit 5 Hunderttheilen Silicium aber pflegt feineres Korn und hellere Farbe auf der Bruchfläche zu besitzen als solches mit 2 oder 3 Hunderttheilen und wird daher, wenn man lediglich das Aussehen der Bruchfläche als maassgebend für den Werth und den Verkaufspreis betrachtet, auch niedriger als dieses geschätzt werden; Roheisen mit 1 Hunderttheil Silicium und 4 Hunderttheilen Kohlenstoff kann, wenn es im Schmelzofen stark überhitzt und dann verhältnissmässig langsam abgekühlt wurde, ein gleiches Bruchaussehen annehmen als solches mit 2,5 Hunderttheilen Silicium neben 3,5 Hunderttheilen Kohlenstoff und besitzt doch geringeren wirklichen Werth.[1]) Ein zuverlässiges Urtheil über den Werth eines grauen Roheisens kann man daher nur durch die chemische Untersuchung erlangen.

Die Hauptformen des grauen Roheisens und Siliciumeisens reihen sich demnach etwa folgendermaassen an einander.

Eigentliches Siliciumeisen.[2]) Der Siliciumgehalt beträgt 5 bis 16 Hunderttheile; der Kohlenstoffgehalt ist um so niedriger, je höher der Siliciumgehalt ist, und pflegt in den weniger siliciumreichen Sorten etwa 3 Hunderttheile, in den reichsten dagegen nicht mehr als 1 Hunderttheil, mitunter noch weniger, zu betragen. Er ist vollständig oder fast vollständig als Graphit zugegen. Der Mangangehalt ist von dem der Erze abhängig, aus welchen das Siliciumeisen erzeugt wurde, in dem eigentlichen Siliciumeisen, dessen Kohlenstoff graphitisch ausgeschieden ist, jedoch selten hoch. Manganreichere, für gewisse Zwecke dargestellte Legirungen werden bei Besprechung des weissen Roheisens Erwähnung finden. Da ein Phosphorgehalt den Werth des in seiner Herstellung kostspieligen Siliciumeisens abmindern

ginnen und mit VII zu endigen. Durch die Eintheilung in Nummern will man allgemein eine Stufenleiter für die Preisverhältnisse schaffen; nun wird aber phosphorreiches Roheisen weniger hoch als phosphorärmeres bezahlt. Daher steht ein phosphorreicheres Roheisen, welches seinem Silicium- und Graphitgehalte nach als Nr. I bezeichnet werden müsste, doch im Preise dem graphitärmeren Roheisen Nr. III mit geringerem Phosphorgehalte näher und wird demnach auch als Nr. III bezeichnet.

1) Wenn hier der Siliciumgehalt des grauen Roheisens als Werthmesser bezeichnet wurde, so würde doch die Schlussfolgerung irrig sein, dass für jede unmittelbare Verwendung des grauen Roheisens (zur Gusswaarendarstellung, zum Verfrischen) das siliciumreichste das geeignetste sei. Für Gusswaarenerzeugung würde z. B. in den meisten Fällen ein Material mit erheblich mehr als 2 Hunderttheilen Silicium nicht einmal gut brauchbar sein. Siliciumärmeres Roheisen aber ist verhältnissmässig billig zu beschaffen; bei jedem erneuerten Umschmelzen pflegt der Siliciumgehalt abzunehmen. Ist nun der Siliciumgehalt zu niedrig für die in's Auge gefasste Verwendung, so lässt sich ein solches Eisen nur brauchbar machen, indem man ihm siliciumreicheres zusetzt. Je höher der Siliciumgehalt des letzteren ist, desto geringer kann der zur Erreichung des Zweckes erforderliche Zusatz sein, aber desto höher beziffern sich nach Früherem seine Erzeugungskosten. Auf diesen Umständen beruht der grössere Werth des siliciumreicheren Roheisens.

2) Vielfach auch Ferrosilicium genannt. Der Ausdruck ist sprachlich unrichtig, da nicht das Silicium, sondern das Eisen den Hauptbestandtheil der Legirung bildet. Vergleiche auch „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 292.

würde, pflegt man nur phosphorarme Erze für die Darstellung zu benutzen.

Siliciumeisen mit 5 bis 10 Hunderttheilen Silicium besitzt lichtgraue Farbe, um so heller und mit einem um so deutlicheren Stiche in's Gelbliche, je höher der Siliciumgehalt ist. Bei mehr als 10 Hunderttheilen Silicium pflegt der Graphitgehalt bereits so weit zurückzutreten, dass zwischen den Graphitblättchen die gelblich-weisse Grundmasse deutlich erkennbar hervortritt, und in den siliciumreichsten Sorten sind die Graphitblätter nur in einzelnen Anhäufungen auf jener Grundmasse vertheilt.

Das Gefüge ist feinkörnig; in den Sorten mit 5 bis 10 Hunderttheilen Silicium mitunter schuppig zu nennen, jedoch hier und da mit rundlich gewölbten, von Graphitblättern überdeckten Absonderungsflächen, wo eine stärkere Graphitanhäufung stattgefunden hatte. Je mehr der Siliciumgehalt steigt, desto feiner wird im Allgemeinen das Korn.

Das Siliciumeisen erfolgt nur in sehr hoher Temperatur des Schmelzofens und entströmt daher beim Abstiche mit blendend weisser Farbe. Alsdann pflegt es ruhig und ohne Funkensprühen zu erstarren. Als Brennstoffe zur Darstellung werden fast nur Koks benutzt.

Man verwendet das Siliciumeisen zur Sauerstoffentziehung bei der Flusseisenerzeugung oder zur Anreicherung des Siliciumgehalts ärmerer Roheisensorten bei anderen Verfahren, vornehmlich in der Giesserei.

Siliciumreiches graues Roheisen. Siliciumgehalt 3,5 bis 5 Hunderttheile, Kohlenstoffgehalt 3,5 bis 2,5 Hunderttheile, grösstentheils als Graphit zugegen. Das Roheisen ist den ärmeren Sorten des eigentlichen Siliciumeisens ähnlich, um so weniger feinkörnig und um so dunkler, je mehr der Graphitgehalt abnimmt. Seinem Bruchaussehen nach lässt es sich leicht mit einem wegen niedrigen Siliciumgehalts verhältnissmässig graphitärmeren Roheisen (Roheisen Nr. III oder IV nach der üblichen Eintheilung) verwechseln, und wo man nicht die chemische Untersuchung zu Hülfe nahm, ist es nicht selten schon als solches in den Handel gebracht worden. Die Erscheinungen beim Fliessen und Erstarren sind nicht wesentlich anders als beim eigentlichen Siliciumeisen. Die zweckmässigste Verwendung findet dieses Roheisen als Zusatz zu siliciumärmerem Roheisen, wo dessen Siliciumgehalt zur Erreichung eines bestimmten Zweckes nicht hoch genug ist (Giesserei, Bessemerverfahren).

Tiefgraues Roheisen. Der Siliciumgehalt pflegt 2 bis 3,5 Hunderttheile, der Kohlenstoffgehalt 4 bis 3,5 Hunderttheile zu betragen; jedoch kann auch Roheisen mit noch niedrigerem Siliciumgehalte (1,5 Hunderttheilen) die Merkmale des tiefgrauen Koksroheisens besitzen, wenn es arm an Mangan und reich an Kohlenstoff (4 bis 4,5 Hunderttheile) ist. Unter allen Roheisensorten ist diese die graphitreichste. Der Graphitgehalt beträgt 3,6 bis 3,2 Hunderttheile, und die Graphitblättchen bedecken vollständig die Bruchfläche, wodurch diese ihr dunkelgraues Aussehen erhält. Das Gefüge ist ausgeprägt körnig; bei dem mit mineralischen Brennstoffen, insbesondere Koks, erblasenen Roheisen sehr grobkörnig, bei dem mit Holzkohlen erblasenen, welches

im Hochofen weniger stark überhitzt wurde, auch zu dünneren Masseln gegossen zu werden pflegt und daher rascher abkühlt, etwas feinkörniger. Häufig findet sich Gaarschaum (Seite 272) in beträchtlichen Anhäufungen auf der Oberfläche oder auch in Drusen. Das mit mineralischen Kohlen erzeugte, sehr grobkörnige Roheisen wird als Nr. I (phosphorreiches als Nr. III) in den Handel gebracht (Seite 335, Fussanmerkung); Holzkohlenroheisen dieser Art pflegt als hochgaares, auch wohl todtgaares Roheisen bezeichnet zu werden.

Das tiefgraue Roheisen fliesst ebenfalls mit blendend weisser Farbe aus dem Schmelzofen, wirft dabei nicht selten Graphitblätter aus, welche die Gussrinne bedecken, und pflegt wegen dieser während des Fliessens eintretenden Gaarschaumabsonderung ziemlich dickflüssig zu sein. Das Erstarren geht ruhig von statten. Es dient, wie die früher besprochenen Arten, vornehmlich als Zusatzmaterial zu siliciumärmerem Roheisen, um dessen Siliciumgehalt anzureichern.

Gewöhnliches graues Roheisen. Der Siliciumgehalt geht selten über 2 Hunderttheile, der Kohlenstoffgehalt selten über 3,5 Hunderttheile hinaus. Der Graphitgehalt ist demnach etwas geringer (ungefähr 3 Hunderttheile), das Gefüge etwas feinkörniger als bei dem zuvor beschriebenen tiefgrauen Roheisen, die Farbe weniger dunkel. Koksroheisen dieser Art wird entweder als Nr. II bezeichnet, oder, je nachdem es dem vorher besprochenen oder dem noch graphitärmeren Roheisen näher steht, als Nr. I oder III in den Handel gebracht. Holzkohlenroheisen pflegt als gaares Roheisen benannt zu werden. Die Gaarschaumbildung ist weniger stark als bei dem tiefgrauen Roheisen und verschwindet bei den weniger graphitreichen Arten ganz. Im geschmolzenen Zustande ist es dünnflüssiger als das vorige, verhält sich aber im Uebrigen diesem ähnlich. Für gewisse Zwecke der Giesserei (z. B. für Herstellung dünner, rasch erstarrender und deshalb leicht hart werdender Abgüsse) ist solches Roheisen ohne Weiteres gut brauchbar; ferner findet es, wenn seine sonstige Zusammensetzung (insbesondere sein Phosphorgehalt) dem Zwecke entspricht, häufige Anwendung für das Bessemerverfahren. Im Uebrigen dient es zum Umschmelzen (wobei der Silicium- und Graphitgehalt abnehmen) und als Zusatz zu siliciumärmerem Roheisen.

Lichtgraues Roheisen. Der Siliciumgehalt pflegt 1 bis 1,5 Hunderttheile, der Gesammtkohlenstoffgehalt 3 bis 3,5 Hunderttheile, der Graphitgehalt etwa 2 Hunderttheile oder wenig mehr zu betragen. Das Gefüge ist noch feinkörniger, die Farbe noch heller als bei der vorigen Sorte; bei den graphitärmeren Stücken dieser Art erblickt man bereits deutlich die weisse Grundmasse, das Eisen, zwischen den Graphitblättern. In diesem Falle pflegt man das Roheisen, insbesondere das mit Holzkohlen erblasene, halbirtes Roheisen zu nennen, und man unterscheidet auch wohl schwach halbirtes (mit grösserem Graphitgehalte) von stark halbirtem (mit geringerem Graphitgehalte). Zeigt sich der Graphit auf der Bruchfläche nicht gleichmässig vertheilt, sondern in Form einzelner, wie schwarze Flecke aussehender Anhäufungen auf weissem Grunde, so wendet man in manchen Gegenden die Bezeichnung Forelleneisen dafür an. Koksroheisen dieser Art mit noch gleichmässig lichtgrauer Bruchfläche ohne erkennbare weisse Grundmasse

wird als Nr. III, bei geringerem Graphitgehalte (mit erkennbarem weissen Grunde) als Nr. IV in den Handel gebracht (phosphorreiches als Nr. V und VI).

Dass sehr siliciumreiches und deshalb kohlenstoffarmes Roheisen mitunter mit dem hier in Rede stehenden verwechselt werde, ist oben erwähnt worden.

Das lichtgraue Roheisen pflegt in weniger hoher Temperatur als die vorher besprochenen Sorten zu erfolgen und zeigt in diesem Falle beim Austreten aus dem Schmelzofen weniger helle Farbe als jene. Beim Fliessen wirft es Funken, aus Eisentheilchen bestehend, welche durch entweichendes Gas fortgeschleudert wurden und an der Luft verbrennen, dabei oft noch in mehrere Theile zerstiebend; die Zahl der Funken wächst mit abnehmendem Siliciumgehalte. Beim Stehen in einer offenen Form zeigt das geschmolzene Roheisen dieser Art lebhafte Bewegung und an der Oberfläche eigenthümliche Figurenbildungen (Spiel des Roheisens); nach dem Erstarren pflegt die Oberfläche mit Löchern bedeckt zu sein, welche um so grösser und tiefer sind, je siliciumärmer das Eisen ist.[1])

Man benutzt dieses Roheisen entweder für sich allein oder in Vermischung mit siliciumreicherem sowohl für die Giesserei als für ververschiedene Frischverfahren.

Grelles oder halbweisses Roheisen (Koksroheisen Nr. V oder bei reichem Phosphorgehalte Nr. VII). Silicium und Kohlenstoff sind in noch geringeren Mengen zugegen als im lichtgrauen Roheisen (Silicium gewöhnlich etwa 1 Hunderttheil, Kohlenstoff 2,5 bis 3 Hunderttheile), der Graphitgehalt ist gering. Die Graphitblätter sind auf der weissen dichten Grundmasse zerstreut und das Roheisen erhält dadurch einige Aehnlichkeit mit dem eigentlichen Siliciumeisen, von welchem es sich jedoch durch seine weniger gelbliche, mehr grauweisse Farbe und das abweichende Aussehen seines Gefüges unterscheidet. Eine genaue Beschreibung dieser Unterschiede zu geben, ist kaum möglich; ein Vergleich zweier Probestücke beider Roheisenarten lässt die Unterschiede ohne grosse Schwierigkeit erkennen.

Dieses Roheisen bildet den Uebergang vom Graueisen zum Weisseisen, dem es seinem Aussehen nach oft näher steht als ersterem. Es ist meistens ein unbeabsichtigtes, in Folge von Störungen des regelmässigen Schmelzganges entstandenes Erzeugniss des Hochofens. Es ist dickflüssig und beim Fliessen oft mit einem förmlichen Funkenregen überdeckt. Jene beim lichtgrauen Roheisen an der frei erstarrenden Oberfläche sich bildenden Löcher treten beim grellen Roheisen in noch verstärktem Maasse auf; mitunter auch bläht sich unter der Einwirkung entweichender Gase die Oberfläche auf, und es entstehen zwiebelartige Auswüchse. Häufig ist das Eisen schwefelreich, da in der niedrigeren Entstehungstemperatur der Schwefel weniger vollständig als bei den früher besprochenen Roheisenarten von der Schlacke aufgenommen zu werden pflegt.

1) Näheres über diese Erscheinungen und deren Ursachen: Ledebur, Das Roheisen, 3. Auflage, Seite 37; auch Dürre, Handbuch des Eisengiessereibetriebes, 3. Auflage, Band I, Seite 129.

Beispiele der Zusammensetzung verschiedener Sorten grauen Roheisens.

	Silicium	Gesammter Kohlenstoff	Graphit	Mangan	Phosphor	Schwefel	Kupfer
a) Mit mineralischen Brennstoffen erzeugt.							
Siliciumeisen von Hörde, von mir untersucht	16,31	0,80	0,80	1,22	0,18	n. best	n. best.
Siliciumeisen von Königshütte, von mir untersucht	11,29	1,59	1,59	2,08	0,08	0,02	n. best.
Siliciumreiches Roheisen von Friedenshütte, nach Jüngst[1] . .	5,32	2,46	2,25	2,52	0,48	0,01	n. best.
Siliciumreiches englisches Roheisen, als Nr. III in den Handel gebracht, von mir untersucht	4,37	2,74	2,64	0,71	n. best.	n. best.	n. best.
Siliciumreiches westfälisch. Roheisen, ebenfalls als Nr. III verkauft, nach Wachler[2]	3,50	3,42	3,27	0,79	0,96	0,01	0,04
Schottisches Roheisen (Coltness) Nr. I, tiefgrau, nach Wachler[2])	3,50	3,50	3,30	1,58	0,98	0,02	0,10
Dasselbe Roheisen wie vorstehend, von einem anderen Abstiche, von mir untersucht	2,77	3,78	3,33	1,31	0,80	0,02	0,09
Schottisches Roheisen (Coltness) Nr. III, grau, von mir untersucht	2,16	2,82	2,54	0,67	0,51	n. best.	0,08
Schottisches Roheisen (Langloan) Nr. I, tiefgrau, nach Wachler	2,93	3,86	3,40	1,62	0,75	0,04	0,07
Englisches Roheisen von Middlesborough, als Nr. III in den Handel gebracht[3], nach Wachler	2,52	3,52	3,39	0,68	1,49	0,05	0,04
Roheisen von Terre-Noire Nr. I, tiefgrau, nach Kerpely[4] . .	2,25	4,15	3,25	1,25	0,05	0,02	n. best.
Ebendaher Nr. II, grau	1,95	3,58	2,55	1,05	0,05	0,04	"
" " III, grau	1,75	3,47	1,95	0,95	0,05	0,06	"
" " IV, lichtgrau . .	1,55	3,23	1,15	0,65	0,04	0,07	"
" " V, grell	1,45	3,02	0,85	0,58	0,05	0,08	"
Mittheilung eines Lothringer Hochofenwerks.: Lothringer Giessereiroheisen Nr. III, grobkörnig, grau	2,71	3,82	3,30	0,59	1,78	n. best	"
Dasselbe Nr. IV, grau . .	2,71	3,82	3,30	0,61	1,93	"	"
" " V, lichtgrau .	2,86	3,71	3,40	0,56	1,89	"	"
" " VI, lichtgrau .	1,87	3,76	3,10	0,51	1,85	"	"
" " VII, lichtgrau s. feinkörnig	2,29	3,76	3,10	0,59	1,86	"	"
Tiefgraues Bessemerroheisen von Georgs-Marienhütte (persönliche Mittheilung)	3,31	4,76	4,00	3,41	0,07	0,05	"
Graues Bessemerroheisen Nr. II, ebendaher	2,52	3,76	3,10	3,90	0,07	0,03	"

1) Schmelzversuche mit Ferrosilicium. Berlin 1890.

2) Vergleichende Qualitätsuntersuchungen rheinisch-westfälischen und ausländischen Giessereiroheisens. Berlin 1879.

3) Die Nummern der in der Gegend von Middlesborough erzeugten Roheisensorten Clarence, Newport, Claylane u. a., welche sämmtlich ähnlich zusammengesetzt sind und einen Phosphorgehalt von ungefähr 1,5 Hunderttheilen aufweisen, pflegen, wie oben erwähnt wurde, erst bei Nr. III zu beginnen (Seite 335, Fussanmerkung).

4) Eisen und Stahl auf der Weltausstellung zu Paris 1878. Leipzig 1879.

	Silicium	Gesammter Kohlenstoff	Graphit	Mangan	Phosphor	Schwefel	Kupfer
Lichtgraues Bessemerroheisen (Nr. III) ebendaher	1,73	3,14	2,97	3,78	0,08	0,04	n. best.
Bessemerroheisen Nr. I. v. Schwechat, von mir untersucht	2,31	3,57	n. best.	3,74	0,07	0,03	„
b) Holzkohlenroheisen.							
Dunkelgraues Roheisen von Zorge am Harz, von mir untersucht .	2,11	3,61	3,01	0,47	0,46	0,04	0,03
Stark halbirtes Roheisen ebendaher, von mir untersucht	0,87	3,38	n. best.	0,22	0,43	0,06	n. best.
Steirisches Roheisen, grau, von mir untersucht	1,35	3,78	3,07	2,52	0,03	0,05	0,11
Halbirtes Roheisen ebendaher, von mir untersucht[1])	1,79	3,01	2,26	2,33	0,03	0,04	0,05
Graues Giessereiroheisen von Ilsenburg (1875), von mir untersucht	2,20	3,50	2,97	0,41	0,51	0,07	0,05
Halbirtes ebendaher (1875), von mir untersucht	1,68	2,93	2,53	0,35	0,54	0,07	0,08
Stark halbirtes ebendaher (1874), von mir untersucht	1,02	3,19	2,40	0,28	0,59	0,09	0,10
Grelles ebendaher (1874), von mir untersucht	0,70	3,21	1,63	0,14	0,56	0,14	0,09
Graues Roheisen von Kallich in Böhmen (1861). Probestück in der Sammlung der Freiberger Bergakademie. Krystalldruse mit schön ausgebildeten Oktaëderkrystallen, welche mit Kieselsäure überzogen sind.[2]) Von mir untersucht.							
a) Das Muttereisen	1,85	3,11	n. best.	0,18	n. best.	0,04	0,17
b) Die Krystalle (nach Entfernung des Ueberzuges) . .	2,00	3,28	„	0,09	„	0,05	n. best.
Graues Roheisen von Plozko in Ungarn, für die Giesserei bestimmt, von mir untersucht .	1,45	3,81	3,19	1,69	0,37	0,01	—
Desgl. von Sulzau-Werfen, von mir untersucht	0,82	3,83	2,78	1,17	0,09	0,04	—
Desgl. von Szalocz, von mir untersucht	1,07	3,67	3,31	2,13	0,07	0,03	0,07
Desgl. von Krompach, von mir untersucht	1,48	3,50	2,35	2,44	0,12	0,05	0,34
Zum Weisswerden geneigtes Hartgusseisen, ebendaher, von mir untersucht	0,82	3,82	n. best.	2,85	0,11	0,005	0,15
Lichtgraues Roheisen von Rhónitz, nach Kerpely[3])	1,76	2,73	2,23	1,42	0,36	0,12	0,05
Halbirtes Roheisen von Diósgyör, nach Kerpely[3])	2,54	2,52	1,78	2,88	0,15	0,04	0,32

1) Ein Vergleich der beiden Sorten steirischen Roheisens ist lehrreich. Das siliciumreichere Roheisen ist, da es ärmer an Gesammtkohlenstoff ist als das andere, doch auch graphitärmer und deshalb heller.

2) Vergleiche Seite 286.

3) Ungarns Eisensteine und Eisenhüttenerzeugnisse, Seite 74—76.

	Silicium	Gesammter Kohlenstoff	Graphit	Mangan	Phosphor	Schwefel	Kupfer
Graues Roheisen von Pioneer Furnace (Nordamerika), nach Kupelwieser[1]	2,24	3,68	2,88	0,17	0,14	0,01	n. best.
Halbirtes schwedisches Gusseisen von Finspong, zum Kanonengusse benutzt; stark halbirte Bruchfläche. Probe aus der Sammlung der Freiberger Bergakademie. Von mir untersucht	0,63	2,70	2,26	0,32	Sp.	0,15	Sp.

4. Das weisse Roheisen und das Eisenmangan.

Während das graue Roheisen drei für seine Bildung nothwendige Körper, Eisen, Kohlenstoff und Silicium, enthält, sind für die Entstehung des weissen Roheisens nur Eisen und Kohlenstoff nothwendig. Silicium kann als zufälliger Nebenbestandtheil in um so grösseren Mengen zugegen sein, je niedriger der Kohlenstoffgehalt und je höher der Mangangehalt ist. Steigt der Siliciumgehalt über das durch diese Verhältnisse bedingte Maass, so wird das Roheisen grau.

Der Fall kommt nicht selten vor. Bleibt kohlenstoffreiches weisses Roheisen im hocherhitzten Zustande lange Zeit mit kieselsäurereichen Körpern in Berührung, so wird durch den Kohlenstoff Silicium reduzirt und das Eisen wird grau; besonders leicht tritt dieser Vorgang ein, wenn das Roheisen zugleich manganhaltig ist. Hier dient nunmehr das Mangan als Reductionsmittel für Silicium (Seite 285); Mangan tritt aus, Silicium ein. In Giessereien benutzt man neuerdings in gewissen Fällen einen Zusatz von Siliciumeisen zu weissem Roheisen, um dieses in graues, für Gusswaarenerzeugung brauchbares Roheisen umzuwandeln.[2])

Im eigentlichen weissen Roheisen geht der Siliciumgehalt selten über 0,8 Hunderttheile hinaus und ist meistens geringer.

Mangan befördert die Entstehung des weissen Roheisens, indem es die Graphitbildung erschwert. Daher pflegt man manganreiche Erze vorzugsweise auf weisses Roheisen zu verhütten. Mit dem Mangangehalte pflegt auch der Kohlenstoffgehalt des weissen Roheisens zu steigen, und beide zusammen erreichen in den Eisenmanganen ihr höchstes Maass.

Phosphor findet sich in Mengen von weniger als 0,1 bis 3 Hunderttheilen und mitunter noch etwas darüber. Wie schon erwähnt worden ist, verhüttet man sehr phosphorreiche Erze im Allgemeinen vortheilhafter auf weisses als auf graues Roheisen, da für ersteres sich

1) Das Hüttenwesen, Bericht über die Weltausstellung in Philadelphia, Seite 68.
2) Vergleiche C. Jüngst, Schmelzversuche mit Ferrosilicium. Berlin 1890. (Sonderabdruck aus der Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen 1890.)

leichter als für letzteres passende Verwendung findet; im (weissen) Thomasroheisen verlangt man sogar einen Phosphorgehalt von mindestens 2 Hunderttheilen.

Schwefel ist in den manganärmeren Sorten in durchschnittlich reicherer Menge (0,05 bis 0,20) anwesend als im Graueisen, da jene Roheisensorten in niedrigerer Temperatur und, bei Benutzung von mineralischen Brennstoffen, auch mit weniger stark basischer Schlacke als letzteres erzeugt werden. Eine so kalkreiche Schlacke, wie bei Graueisendarstellung mit Koks gebildet zu werden pflegt, würde in der für Weisseisendarstellung erforderlichen niedrigeren Temperatur kaum schmelzen. Daher pflegt das mit mineralischen, schwefelhaltigen Brennstoffen erzeugte Weisseisen auch schwefelreicher als das Holzkohlenroheisen zu sein.

Ist dagegen die Beschickung manganreich, so wird durch den Mangangehalt der Schwefel verschlackt (Seite 293), und das Roheisen fällt entsprechend schwefelarm aus.

Kupfer, Nickel, Antimon, Arsen finden sich in gleichen Mengen wie im Graueisen; schwer reducirbare Körper aber (z. B. Titan) werden in der niedrigeren Erzeugungstemperatur des weissen Roheisens weniger leicht aufgenommen; das Eisen ist reiner.[1])

Aus der Reihe der Arten des weissen Roheisens (einschliesslich der Eisenmangane) treten nachstehend beschriebene Formen als besonders eigenartig heraus.

Gewöhnliches Weisseisen, auch Matteisen (da es matt, d. h. träge, fliesst) oder Treibeisen (da es beim Frischen rasch entkohlt wird) genannt. Es schliesst sich unmittelbar an das oben besprochene, beim Betriebe auf graues Roheisen entstehende grelle Roheisen an. Wie dieses besitzt es feinkörnige Bruchfläche, derjenigen eines durchgebrochenen frischen Käses ähnelnd; im Wesentlichen unterscheidet sich das Aussehen des Bruchfläche nur durch das Fehlen des Graphits. In Roheisenstücken, welche der nächstbesprochenen Art näher stehen, findet sich jedoch hier oder da Andeutung eines strahlenartigen Gefüges. Die Farbe der Bruchfläche ist weiss mit einem schwachen Stiche in's Graue. Der Kohlenstoffgehalt dieses Roheisens geht selten erheblich über 3 Hunderttheile hinaus; auch der Mangangehalt ist niedrig (0,1 bis 1 Hunderttheil). Silicium kann sich in Mengen bis zu 0,8 Hunderttheilen finden, sofern der Kohlenstoffgehalt ausreichend niedrig ist, um die Anwesenheit des Siliciums zu ermöglichen, ohne dass Graphitbildung eintritt. Der Schwefelgehalt pflegt verhältnissmässig hoch zu sein (0,1 bis 0,2 Hunderttheile).

Das Roheisen wird zum Verfrischen und in Giessereien zur Darstellung schmiedbaren Gusses benutzt (in der dritten Abtheilung der Eisenhüttenkunde besprochen); für letztere Verwendung darf ein hoher Kohlenstoff-, Mangan- und Phosphorgehalt nicht zugegen sein, während

1) Auf diesem Umstande beruht jedenfalls die durch Versuche nachgewiesene Thatsache, dass man im Stande ist, durch Zusammenschmelzen von manganarmem Weisseisen mit einer entsprechenden Menge Siliciumeisen graues Roheisen von ausnahmsweise hoher Festigkeit, und deshalb für gewisse Zwecke der Giesserei besonders gut geeignet, zu bilden. Vergleiche hierüber C. Jüngst, Schmelzversuche mit Ferrosilicium, Berlin 1890.

ein Siliciumgehalt von 0,4 bis 0,7 Hunderttheilen die Verwendbarkeit erhöht.

Die Erscheinungen beim Fliessen und Erstarren des Eisens sind denen beim grellen Roheisen ähnlich. Wie dieses pflegt es reichlich Funken zu werfen und, sofern es nicht phosphorreich ist, einen breiartigen Zustand anzunehmen, bevor es völlig starr wird.

Weissstrahliges Roheisen. Die Bruchfläche zeigt ein strahliges Gefüge, dessen Strahlen senkrecht gegen die Abkühlungsflächen gerichtet sind. Die Farbe ist reinweiss. Der Kohlenstoffgehalt pflegt 3 bis 4,5 Hunderttheile, der Mangangehalt 1 bis 4 Hunderttheile zu betragen. Der Schwefelgehalt ist durchschnittlich etwas niedriger als der des vorstehend besprochenen Roheisens. Nach der mehr oder minder vollkommenen Ausbildung der Strahlen pflegt man gewöhnlichen Weissstrahl und hochstrahliges Roheisen zu unterscheiden; letzteres ist kohlenstoff- und manganreicher. Steigt dagegen der Siliciumgehalt bis zu einem Maasse, dass theilweise Graphitausscheidung eintritt, so pflegt man das Roheisen Kerneisen oder halbirtes Roheisen zu benennen.

Im geschmolzenen Zustande ist das weissstrahlige Roheisen dünnflüssiger als das vorige, das Funkenwerfen ist schwächer oder fehlt gänzlich. Dagegen pflegen die manganreicheren Sorten mit einer Flammenschicht bedeckt zu sein, aus welcher sich ein dünner, weisser, grösstentheils aus Kieselsäure bestehender Rauch entwickelt.

Das weissstrahlige Roheisen wird vorzugsweise zum Verfrischen benutzt; ausnahmsweise in Giessereien als Zusatz zu grauem Roheisen, um dessen Eigenschaften in bestimmter Weise zu beeinflussen.

Spiegeleisen. Wenn die Strahlen des vorstehend besprochenen Roheisens eine grössere Breite annehmen, so entstehen grosse, ebene Absonderungsflächen von weisser Farbe, welche ebenfalls rechtwinklig gegen die Abkühlungsflächen gerichtet sind, sich gegenseitig aber in verschiedenen Richtungen kreuzen, und welche Spiegel genannt werden. Das betreffende Roheisen heisst Spiegeleisen. Es ist durch einen höheren Kohlenstoff- und Mangangehalt als das weissstrahlige Eisen ausgezeichnet (Kohlenstoff 4 bis 5 Hunderttheile, Mangan 5 bis 20 Hunderttheile); da ein Phosphorgehalt den Werth des Spiegeleisens abmindern würde, pflegt man nur phosphorarme Erze für seine Darstellung zu benutzen, und man findet daher selten mehr als 0,15 Hunderttheile Phosphor, meistens weniger. Auch der Schwefelgehalt dieses Roheisens pflegt gering zu sein, da er durch den nie fehlenden reichlichen Mangangehalt in die Schlacke geführt wird.

In Drusenräumen des Spiegeleisens findet man nicht selten blätter- oder fächerförmige, sich durchkreuzende Krystallbildungen. Jedes dieser Blätter besteht, wie Martens zuerst nachwies (Zeitschr. des Ver. deutsch. Ingenieure 1878, Seite 205), aus einer Reihe nebeneinander liegender vierseitiger Säulen des rhombischen Systems.

Uebergänge zwischen dem eigentlichen Spiegeleisen und dem Weissstrahl, bei welchen die Absonderungsflächen schmal sind und strahlenförmigen Bildungen ähneln, werden Halbspiegeleisen genannt. Spiegeleisen mit einem Mangangehalte von 5 bis 6 Hunderttheilen pflegt zwar deutlich ausgebildete, aber noch kleine Spiegelflächen auf-

zuweisen und heisst Kleinspiegel; die grössten Spiegelflächen erscheinen bei einem Mangangehalte von 6 bis 15 Hunderttheilen Grobspiegel); bei noch höherem Mangangehalte werden die Spiegel wieder undeutlicher (hochmanganhaltiges Spiegeleisen). Fand das Spiegeleisen Gelegenheit, grössere Mengen von Silicium aufzunehmen, so zeigt sich am Saume der Spiegelflächen die beginnende Graphitausscheidung und das Eisen heisst Grau- oder Saumspiegel.

Geschmolzenes Spiegeleisen pflegt sehr dünnflüssig zu sein, so dass es oft in die Fugen des Schmelzofens eindringt; beim Fliessen zeigt es reichliche Flammenbildung mit Rauchentwickelung (ohne Funkenwerfen), und beim Abkühlen geht es rasch in den festen Zustand über, ohne einen breiartigen Uebergangszustand zu durchlaufen. Die Ausbildung der Spiegel erfolgt um so vollständiger, je langsamer die Abkühlung von statten geht; daher lässt man wohl das Spiegeleisen unter einer Schlackendecke erkalten, sofern man Werth auf vollendete Ausbildung der Spiegelfläche legt.[1])

Das Spiegeleisen findet nur bei den verschiedenen Frischverfahren Verwendung. Es ist hart und sehr spröde.

Eisenmangane. Wenn der Mangangehalt des Eisens über 25 Hunderttheile hinausgeht, verliert sich das dem Spiegeleisen eigenthümliche blättrige Gefüge vollständig und macht einem dichten feinkörnigen Gefüge Platz, welches ziemlich häufig durch nadelförmige Krystallbildungen unterbrochen ist. Die reinweisse Farbe des Spiegeleisens ist in gelblichweiss übergegangen; wo aber beim Abkühlen die Luft durch entstandene feine Risse beschränkten Zutritt fand, da entstehen prächtige Anlauffarben in allen Farben des Regenbogens.

Man stellt solche Eisenmangane im Grossen dar mit Mangangehalten von 30 bis 85 Hunderttheilen, mitunter noch etwas darüber. Mit dem Mangangehalte steigt der Kohlenstoffgehalt, und in den manganreichsten Sorten kann dieser 7,5 Hunderttheile betragen, sofern nicht ein grösserer Siliciumgehalt zugegen ist.

Auch Siliciumeisenmangane (häufig Siliciumspiegel genannt, obschon sie nicht immer das dem Spiegeleisen eigenthümliche Gefüge besitzen) mit einem Siliciumgehalte bis etwa 12 Hunderttheile werden für gewisse Zwecke des Eisenhüttenbetriebs erzeugt. Ihr Kohlenstoffgehalt sinkt mit zunehmendem Siliciumgehalte; der hohe Mangangehalt aber verhindert trotz des letzteren die Graphitbildung.

Alle diese Eisenmanganlegirungen finden nur als sauerstoffentziehende Zusätze bei der Darstellung des Flusseisens Verwendung. Ihre Herstellungskosten wachsen erheblich mit dem Mangangehalte; aber manganreiche Eisenmangane sind trotzdem unentbehrlich in solchen Fällen, wo man geschmolzenem Flusseisen eine bestimmte Menge Mangan zuzuführen beabsichtigt, ohne zugleich seinen Kohlenstoffgehalt erheblich anzureichern.

1) Auch das Spiegeleisen wurde früher, wie das graue Roheisen, fast nur nach dem Bruchaussehen verkauft, wobei man die Grösse der Spiegel als Maassstab betrachtete. In der Jetztzeit pflegt die Höhe des durch chemische Untersuchung gefundenen Mangangehalts bestimmend zu sein; mit dem Mangangehalte steigt der Preis.

Beispiele der Zusammensetzung des weissen Roheisens und der Eisenmangane.

	Gesammter Kohlenstoff	Mangan	Silicium	Phosphor	Schwefel	Kupfer
Gewöhnliches Weisseisen aus Cumberland, zur Darstellung schmiedbaren Gusses benutzt, von mir untersucht	3,03	0,16	0,28	0,02	0,10	n. best.
Gewöhnliches Weisseisen aus Gleiwitz[1] .	3,18	0,78	0,53	0,96	0,07	"
Feinstrahliges Eisen von Reschitza, nach Kerpely[2]	3,66	0,56	0,74	0,19	0,21	0,06
Gewöhnliches Weisseisen von Ilsede[3] . .	1,64	1,68	0,03	3,12	0,14	n. best.
Oberschlesisches weisses Holzkohlenroheisen, nach Jüngst[4]	2,76	0,52	0,33	0,91	0,08	"
Weissstrahliges Holzkohlenroheisen von Eisenerz (Oesterr. Jahrbuch, Bd. 36, S. 89)	3,72	0,69	0,12	0,07	0,02	"
Weissstrahl von Ilsede („Stahl und Eisen" 1881, S. 245)	2,68	3,84	0,11	3,29	0,04	"
Weissstrahl von Reschitza, nach Kerpely[2]	4,27	2,22	0,32	0,04	Sp.	0,24
Weissstrahliges Eisen von Firminy („Stahl und Eisen" 1889, S. 858)	3,20	1,02	0,40	0,07	0,07	n. best.
Weissstrahliges Eisen von Mont St. Martin (Journal of the Iron and Steel Institute 1890, II, p. 759)	3,20	2,00	0,35	2,20	0,02	"
Weissstrahl von Lölling (Holzkohlenroheisen; Oesterr. Jahrb. 1888, S. 87) . .	3,50	4,22	0,57	Sp.	0,05	"
Kerneisen (halbirtes Weisseisen mit 0,75 Hunderttheilen Graphit) von Gleiwitz; Quelle wie oben	3,51	3,36	1,23	0,89	0,05	"
Kerneisen mit 2,46 Hunderttheilen Graphit von Georgs-Marienhütte; persönliche Mittheilung	3,67	2,74	1,03	0,09	0,05	"
Kleinspiegeleisen ebendaher	3,83	4,28	0,37	0,08	Sp.	"
Spiegeleisen ebendaher	4,07	4,75	0,20	0,08	0,05	"
Spiegeleisen von den Kruppschen Eisenwerken, in meinem Laboratorium untersucht	5,30	11,30	0,30	0,16	0,01	"
Spiegeleisen von Reschitza, nach Kerpely; Quelle wie oben	5,39	7,05	0,52	0,002	0,21	0,07
Hochmanganhaltiges Spiegeleisen von St. Louis („Stahl und Eisen" 1889, S. 858)	6,00	27,41	0,23	0,06	0,01	0,02
Grauspiegel mit 2,71 Hunderttheilen Graphit von Georgs-Marienhütte; Quelle wie oben	5,20	4,47	0,88	0,07	0,04	n. best.
Grauspiegeliges Eisen von Aplerbecker Hütte, von mir untersucht	4,18	3,80	0,45	0,29	0,02	0,25
Eisenmangan von Reschitza, nach Kerpely; Quelle wie oben	4,01	28,35	0,90	0,24	0,00	0,06

1) Zeitschr. für Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Band XXII, Seite 291.

2) Ungarns Eisensteine und Eisenhüttenerzeugnisse, Seite 80.

3) „Stahl und Eisen" 1881, Seite 245. Man beachte den niedrigen Kohlenstoffgehalt dieses Roheisens. Ohne den sehr hohen Phosphorgehalt und ziemlich beträchtlichen Schwefelgehalt würde das Eisen nicht mehr als Roheisen gelten können.

4) Schmelzversuche mit Ferrosilicium.

	Kohlenstoff Gesammter	Mangan	Silicium	Phosphor	Schwefel	Kupfer
Krystallisirtes Eisenmangan von Oberhausen (1878), von mir untersucht . .	5,53	35,43	0,06	Sp.	Sp.	n. best.
Eisenmangan von Hoerde (1881), von mir untersucht	5,31	55,06	2,52	0,38	Sp.	0,17
Eisenmangan von Phönix bei Ruhrort (1880), von mir untersucht	6,94	76,95	0,02	0,24	n. best.	0,37
Siliciumspiegel von Middlesborough („Stahl und Eisen“ 1889, S. 859)	1,39	19,25	12,25	0,05	Sp.	0,01
Desgleichen von Terre-Noire (Kerpely, Eisen und Stahl auf der Weltausstellung zu Paris 1878, S. 78)	2,65	20,50	10,20	0,18	n. best.	n. best.

Literatur.

a) Grössere Werke.

E. F. Dürre, Ueber die Constitution des Roheisens und den Werth seiner physikalischen Eigenschaften zur Begründung eines allgemeinen Constitutionsgesetzes für dasselbe. Leipzig 1868.

R. Wachler, Vergleichende Qualitätsuntersuchungen rheinisch-westfälischen und ausländischen Giesserei-Roheisens. Sonderabdruck aus Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen. Berlin 1879.

A. Ledebur, Das Roheisen mit besonderer Berücksichtigung seiner Verwendung für die Eisengiesserei. Dritte vollständig umgearbeitete Auflage. Leipzig 1891.

b) Abhandlungen.

C. Jüngst, Schmelzversuche mit Ferrosilicium. Zeitschr. für Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Bd. XXXVIII (auch als Sonderabdruck).

A. Martens, Zur Mikrostructur des Spiegeleisens. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1878, S. 205, 481.

A. Martens, Ueber das mikroskopische Gefüge und die Krystallisation des Roheisens, speciell des grauen Roheisens. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1880, S. 398.

H. Wedding, The difference in the microscopical structure of charcoal and coke pig irons. Journal of the Charcoal Iron Workers, vol. VII, p. 120.

Th. Turner, The constituents of cast iron. Journal of the Iron and Steel Institute 1886, I, p. 163.

A. Platz, Ueber einige Saigerungserscheinungen beim weissen Roheisen. „Stahl und Eisen“ 1886, S. 244.

A. Ledebur, Ueber einige Saigerungserscheinungen beim Eisen. „Stahl und Eisen“ 1884, S. 634.

A. Ledebur, Ueber die Kügelchenbildung in Gussstücken. „Stahl und Eisen“ 1887, S. 170.

B. Platz, Die Wanzenbildung auf Roheisen und die Kügelchenbildung im Roheisen. „Stahl und Eisen“ 1887, S. 639.

Riemer, Die Wanzenbildung auf Roheisen und die Kügelchenbildung im Roheisen. „Stahl und Eisen“ 1887, S. 791.

A. Jaumain, Notize sur la composition des pailles qui se détachent de la partie supérieure des gueusets et de certaines fontes d'affinage. Annales des mines, série 8, tome I, p. 552.

W. Shimer, Titanium carbide in pig-iron. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. XV, p. 455.

A. Ledebur, Ueber den Einfluss der Winderhitzung auf die Zusammensetzung des erblasenen Roheisens. „Stahl und Eisen“ 1887, S. 168.

A. Ledebur, Neuere Untersuchungen über die Eigenschaften des Gusseisens. „Stahl und Eisen“ 1890, S. 602.

II. Der Hochofen.

I. Geschichtliches.

Den zur Darstellung von Roheisen und Eisenmanganen im Grossen benutzten Ofen nennt man in Rücksicht auf seine beträchtliche Höhe **Hochofen, hoher Ofen** oder **Hohofen.** Wie der Hochofen nach Einführung der Anwendung von Wasserkraft zum Betriebe der Gebläse allmählich aus den kleineren zur Darstellung schmiedbaren Eisens aus den Erzen benutzten Oefen sich entwickelte, ist bereits auf Seite 11 geschildert worden.

Die ersten Spuren der gewerbmässigen Roheisendarstellung finden sich im Anfange des 13. Jahrhunderts im Siegerlande und bei Schmalkalden.[1]) Die ersten dafür benutzten Oefen wurden Bla-Oefen oder Blau-Oefen (Blaseöfen) genannt und hatten kaum mehr als 3 m Höhe; gegen Ende des Jahrhunderts erhöhte man im Elsass die Oefen bis auf 5 m und verlieh ihnen nun erst den Namen Hochöfen. Gegen die Mitte des 15. Jahrhunderts wurde die Roheisendarstellung, welche regelmässig Hand in Hand mit der unmittelbaren Verwendung des Roheisens zur Gusswaarenerzeugung ging, in England eingeführt, in den ersten Jahren des 16. Jahrhunderts beginnt sie am Harze sich einzubürgern. Der erste Hochofen Nordamerikas wurde um 1644 in Massachusetts Bay errichtet.[2])

Vielfach aber vollzog sich die Aenderung der Betriebsweise ganz allmählich. In den österreichischen Alpen benutzte man noch gegen Ende des vorigen Jahrhunderts Stücköfen, zur unmittelbaren Darstellung schmiedbaren Eisens bestimmt, in welchen vor dem eigentlichen „Stücke“, d. h. dem Schweisseisen, regelmässig Roheisen erfolgte[3]), und in einzelnen Gegenden Japans soll noch heute ein ganz ähnlicher Betrieb stattfinden.

Die Roheisenerzeugung der Hochöfen der früheren Zeit war im

1) Adolf Gurlt, Bergbau und Hüttenkunde, 2. Auflage, Seite 128.

2) James M. Swank, History of the manufacture of iron, Philadelphia 1892, p. 108.

3) G. Jars, Metallurgische Reisen. Deutsch von C. A. Gerhard, Berlin 1777—1785, Band I, Seite 65.

Vergleiche zu der Leistungsfähigkeit jetziger Hochöfen sehr klein. Der im Jahre 1544 zu Ilsenburg am Harze angelegte Hochofen lieferte, wie aus überkommenen Hüttenrechnungen hervorgeht, gegen Ende des sechszehnten Jahrhunderts täglich 15 Ctr. (etwa 750 kg) Eisen[1]) — ein Hochofen der Jetztzeit vermag nicht selten die hundertundfünfzigfache Menge Roheisen zu erzeugen, und unter günstigen Verhältnissen noch mehr.

Während des vorigen und theilweise schon während des 17. Jahrhunderts stellte man, veranlasst durch den überhand nehmenden Holzmangel Grossbritanniens, in diesem Lande beharrlich fortgesetzte Versuche an, anstatt der bis dahin ausschliesslich verwendeten Holzkohlen mineralische Brennstoffe für den Hochofenbetrieb zu verwenden. 1625 wurde schon in Dudley ein Ofen versuchsweise mit Koks betrieben; und der Besitzer, Dud Dudley, liess sich um 1663 ein früher ertheiltes Patent verlängern, wobei er hervorhob, dass er bereits im Stande sei, 7 t Roheisen wöchentlich (!) mit Koks darzustellen.[2]) Der erste regelmässige Betrieb wurde, nachdem man gelernt hatte, brauchbare Koks darzustellen, durch Abraham Darby im Jahre 1735 zu Coalbrookdale in Shropshire, bald darauf auch zu Pontypool in Monmouthshire (1740) eingerichtet.[3])

Auf dem Festlande wurden die ersten Versuche, mit Koks zu schmelzen, bei einem Holzkohlenhochofen zu Sulzbach im Saargebiete im Jahre 1767 angestellt[4]); der erste von vornherein für die ausschliessliche Benutzung von Koks bestimmte Hochofen wurde 1794 und 1795 zu Gleiwitz in Oberschlesien erbaut. Er war 12,9 m hoch bei 40,3 cbm Inhalt. Er wurde 1796 angeblasen und lieferte anfänglich 1 t Roheisen im Tage, welche Leistung jedoch im Jahre 1800 sich bereits auf das Dreifache gesteigert hatte.[5])

Die grösste Menge alles erzeugten Roheisens verwendete man anfänglich für die Giesserei. Der Giessereibetrieb war gewöhnlich der eigentliche Zweck, um dessentwillen man Hochöfen anlegte; denn schmiedbares Eisen hatte man schon seit Jahrtausenden unmittelbar aus Erzen erzeugen können, und eine andere Veranlassung, diesen einfacheren Weg zu verlassen, lag damals nicht vor. Man erzeugte demnach graues Roheisen und vergoss das flüssige Metall unmittelbar in Formen. Nur die hierbei entstehenden Abfälle wurden auf schmiedbares Eisen verarbeitet. Es erklärt sich hieraus, dass in Gegenden, wo manganreiche, für Weisseisendarstellung mehr als für Gusseisenerzeugung geeignete Erze verhüttet wurden, man sich verhältnissmässig langsam entschloss, das frühere Verfahren, Darstellung von Stahl und Schmiedeeisen unmittelbar aus den Erzen, aufzugeben und zur Roheisendarstellung überzugehen. Erst als nach Erfindung der Dampfkraft und Einführung der Eisenbahnen mit Dampfbetrieb der Bedarf

1) Wedding, Beiträge zur Geschichte des Eisenhüttenwesens im Harz.

2) J. M. Swank im genannten Werke, Seite 53.

3) Ebenda.

4) Simmersbach, Die Koksfabrikation im Oberbergamtsbezirke Dortmund. Berlin 1887.

5) Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenwesen im preuss. Staate, Band XXII, Seite 253.

an Eisen im Ganzen und an schmiedbarem Eisen insbesondere in's Ungeheure stieg[1]), und als man ferner gelernt hatte, zum Verfrischen des Roheisens (Seite 257) mineralische Kohlen zu benutzen, während die unmittelbare Darstellung von schmiedbarem Eisen aus Erzen nach wie vor nur mit Holzkohlen möglich war, gewann die Darstellung weissen Roheisens, welches seines niedrigeren Siliciumgehalts halber sich rascher als graues in schmiedbares Eisen umwandeln lässt, eine erhöhte Bedeutung, und die Menge des ausschliesslich zum Verfrischen erblasenen — grauen und weissen — Roheisens überwog bald die Menge des für die Giesserei bestimmten um ein Beträchtliches.

Der gesteigerte Bedarf an Roheisen überhaupt liess sich jedoch nur durch Anwendung von Koks für den Hochofenbetrieb decken; und je mehr das Eisenbahnnetz sich über die eisenerzeugenden Gegenden ausbreitete, desto reichlichere Gelegenheit zur Beschaffung verhältnissmässig billiger Koks bot sich auch solchen Eisenwerken, welche fern von den Steinkohlenlagern belegen waren. So minderte sich die Zahl der Holzkohlenhochöfen von Jahr zu Jahr, während die Kokshochöfen sich rasch vermehrten. Die geringere Verwendbarkeit des Koksroheisens für den unmittelbaren Guss aus dem Hochofen[2]) und die wachsende Zahl der Eisengiessereien, fern von einem Hochofenwerke, liessen auch da, wo man Giessereiroheisen erzeugte, die alte Betriebsweise — die Vereinigung der Eisengiesserei mit dem Hochofen — mehr und mehr verschwinden, sobald man zum Betriebe mit Koks überging. Der Eisengiessereibetrieb sonderte sich vom Hochofenbetriebe und trat als völlig selbständiges Glied in die Reihe der verschiedenen Betriebszweige. Der Zeitpunkt, von wo an diese Umwandlung sich zu vollziehen begann, war das Ende des 18. Jahrhunderts. Noch um die Mitte des 19. Jahrhunderts gab es indess zahlreiche Eisengiessereien, in welchen man zur Ersparung an Schmelzkosten für das Roheisen unmittelbar aus dem Hochofen goss, zumal wenn dieser mit Holzkohlen betrieben wurde; mit der Abnahme der Zahl der Holzkohlenhochöfen ist auch diese Betriebsweise jetzt, am Ende des 19. Jahrhunderts, ziemlich selten geworden.

2. Die innere Form des Hochofens.

Die verschiedenen Hochofenprofile und ihre Beziehungen zum Hochofenschmelzgange.

Der Hochofen ist ein Schachtofen (Seite 126), in dessen obere Oeffnung, die Gicht, die zur Heizung und Reduction bestimmten Brennstoffe — Holzkohlen, Koks, auch wohl rohe Steinkohlen, Anthrazite, und neben den Holzkohlen rohes Holz — in abwechselnden Lagen mit den zu verhüttenden Erzen und Zuschlägen eingeschüttet werden,

1) Vergl. Seite 12.

2) Man pflegt die für Graueisendarstellung bestimmten Kokshochöfen auf tiefgraues, für den unmittelbaren Guss nicht geeignetes, zum Umschmelzen bestimmtes Roheisen zu betreiben. Ausserdem pflegt das unter stärkerem Gasdrucke erfolgte Koksroheisen reichlichere Mengen von Gasen gelöst zu enthalten und deshalb schwieriger dichten Guss zu liefern, als Holzkohlenroheisen.

während in dem unteren Theile des Ofens durch zugeführte Gebläseluft Verbrennung des Brennstoffs stattfindet.

Solcherart entsteht die jedem eigentlichen Schachtofen eigenthümliche, auf Seite 127 geschilderte entgegengesetzte Bewegungsrichtung der gasförmigen Verbrennungserzeugnisse und der festen Körper, welche eine ausgedehnte Berührung beider ermöglicht und dem Schachtofen ein entschiedenes Uebergewicht über andere Ofengattungen verleiht. Die Gase steigen empor, um aus der Gicht zu entweichen, die festen Körper sinken abwärts, die den Gasen entzogene Wärme wieder nach unten führend, um hier theils als Brennstoff zu dienen, theils reducirt und geschmolzen zu werden. Roheisen und Schlacke, die beiden Enderzeugnisse des zuletzt erwähnten Vorgangs, sammeln sich unterhalb der Windeinströmungsöffnungen (Formen), sondern sich vermöge der Verschiedenheit ihres spezifischen Gewichts (spezifisches Gewicht des Roheisens etwa 7,3, der Schlacke 2,8) von einander und lassen sich getrennt dem Hochofen entziehen.

Die erwähnten Gase des Hochofens haben eine doppelte Aufgabe zu erfüllen. Sie bilden erstens, wie in jedem Schachtofen, die Träger der bei ihrer Erzeugung gebildeten Wärme, um diese an die ihnen begegnenden festen Körper abzugeben; sie sollen aber zweitens auch als Reductionsmittel für die Erze dienen.

Aus den früheren Erörterungen über die Reduction der Eisenerze folgt, dass diese sowohl durch Kohlenoxydgas als durch festen Kohlenstoff bewirkt werden kann; die Berechnungen auf Seite 266 lassen erkennen, dass der Wärmeverbrauch grösser ist, wenn feste Kohle als wenn Kohlenoxydgas für die Reduction benutzt wird.

Unter übrigens gleichen Verhältnissen wird mithin ein Hochofen um so weniger Brennstoff zur Darstellung der gleichen Menge Roheisen gebrauchen, je vollständiger die Erze durch Kohlenoxyd, je weniger sie durch feste Kohle reducirt werden.

Reduction durch Kohlenoxyd aber kann nur so lange stattfinden, als die Erze nicht geschmolzen und dabei verschlackt sind; von dem Augenblicke des Schmelzens an muss die Reduction durch Kohlenstoff an ihre Stelle treten. Hieraus folgt, dass jenes Ziel, möglichste Ausdehnung der Reduction durch Kohlenoxyd, um so leichter erreichbar sein wird, je rascher beim Aufsteigen der Gase die vor den Formen des Hochofens zur Durchführung des Schmelzens erforderliche hohe Temperatur unter jene Grenze sinkt, wo die Schlackenbildung und die Aufnahme des noch nicht reducirten Eisens in die Schlacke beginnt. Anderntheils ist eine annähernd vollständige Reduction des überhaupt in der Beschickung vorhandenen Eisens nur möglich und die Oxydation schon reducirten Eisens vor den Formen lässt sich nur vermeiden, wenn sich der Sauerstoff der eingeblasenen atmosphärischen Luft hier rasch und vollständig mit Kohlenstoff zu Kohlenoxyd vereinigt; beim Aufsteigen der Gase aber kann, ohne dass sie ihre Eigenschaft als Reductionsmaterial einbüssen, ihr Gehalt an Kohlensäure um so mehr zunehmen, je mehr ihre Temperatur sich vermindert (Seite 35).

Die Aufgabe des dem Hochofen zugeführten Brennstoffs erstreckt sich demnach in zwei ganz verschiedenen Richtungen. Er soll durch seine Verbrennung die zur Durchführung des Schmelzverfahrens nothwen-

dige Wärmemenge liefern und die erforderliche Temperatur entwickeln; er soll aber auch, indem er zunächst ausschliesslich zu Kohlenoxyd verbrannt wird, hierdurch das Material erzeugen, welches bei seinem Aufsteigen im Ofen die Reduction der niederrückenden Erze bewirkt. Nicht mit Unrecht hat man den Eisenhochofen einen Gaserzeuger vollkommenster Art genannt, in welchem die erzeugten Gase sofort zur Reduction der Eisenerze, die bei der Gaserzeugung entwickelte Wärme aber zum Schmelzen des Roheisens nebst Schlacken, sowie zur Deckung des sonstigen Wärmebedarfs (Zerlegung von Carbonaten, Verdampfung von Feuchtigkeit u. s. w.) verbraucht wird. Die bei jenem Reductionsvorgange entstehende Kohlensäure aber soll so wenig als möglich wieder zu Kohlenoxyd reducirt werden; denn jedes Gewichtstheil Kohlenstoff, welches im oberen Theile des Hochofens durch Kohlensäure verbrannt und dem Ofen hierdurch entführt wird, geht seiner eigentlichen Bestimmung verloren. Je weniger fester Brennstoff zur Reduction des Erzes wie zur Reduction von Kohlensäure verbraucht und hierdurch jener Aufgabe, Wärme zu entwickeln, entzogen wird, desto günstiger gestaltet sich die Leistung des Hochofens.

Diesem kurz geschilderten Verlaufe des Hochofenschmelzens entsprechend muss die Form des Ofeninnern eingerichtet sein.

Die einfachste Form würde ein Cylinder sein; aber dem Zwecke des Hochofens würde sie um so weniger entsprechen, je grösser die Abmessungen des Ofens sind. Diese durch die Erfahrung von Jahrhunderten bestätigte Thatsache erklärt sich durch folgende Betrachtung.

Damit die Gase gleichmässig die Schmelzsäule, d. h. die in dem Ofen angehäuften festen Körper, durchdringen, ist es zunächst erforderlich, dass die Verbrennung, aus welcher jene Gase hervorgehen, auch gleichmässig innerhalb des ganzen Ofenquerschnitts stattfinde, d. h. also, dass der Gebläsewind bis zur Achse des Ofens vordringe. Je weiter die Ofenachse aber von dem Umfange, an welchem die Luft eintritt, entfernt ist, desto schwieriger ist dieses Ziel erreichbar, desto grössere Geschwindigkeit muss die eintretende Luft besitzen, eine desto grössere mechanische Arbeit zur Erzeugung dieser Geschwindigkeit ist erforderlich. Ein enger Durchmesser des Ofens an der Stelle, wo die Gebläseluft eintritt (in der Formebene), befördert also die Gleichmässigkeit der Verbrennung. Die Gase aber besitzen das Bestreben, da emporzusteigen, wo sich ihnen die geringsten Widerstände bieten, das ist an den Wänden, wo die niederrückenden Schmelzmassen durch die stattfindende Reibung aufgelockert werden. Diesem Bestreben werden sie in einem cylindrischen Ofen in stärkerem Maasse Folge geben können, als wenn der Ofen vom Verbrennungsraume (der Formebene) an nach oben hin allmählich weiter wird; letztere Form ist also für die Erzielung einer gleichmässigen Vertheilung der Gase günstiger. Es kommt hinzu, dass für einen gegebenen Rauminhalt des Ofeninnern, von welchem immerhin die Erzeugungsfähigkeit des Ofens abhängt, die Höhe verhältnissmässig bedeutend ausfallen würde, wenn der Ofendurchmesser an allen Stellen das beschränkte Maass behielte, welches er vor den Formen besitzt. Je grösser aber die Ofenhöhe ist, desto grössere Widerstände finden die Ofengase beim Durchdringen der Schmelzsäule, desto

grösser ist ihre Spannung im unteren Theile des Ofens, und desto grösser muss demnach auch die Spannung des eintretenden Gebläsewinds sein, welche nur durch erhöhten Aufwand an mechanischer Arbeit zu erzielen sein würde. Was durch Anwendung eines engeren Durchmessers gewonnen wird, ginge durch die erforderliche grössere Höhe wieder verloren. Man beschränkt also zweckmässigerweise den engen Durchmesser des Ofens auf den unteren Theil in der Formgegend und lässt von hier an nach oben den Ofen sich zunächst erweitern, um bei geringerer Höhe einen grösseren Rauminhalt zu erlangen.

Der Umstand fällt um so mehr in Betracht, je grösser der Ofeninhalt ist. Oefen mit kleinerem räumlichen Inhalte hat man in der That hier oder da cylinderförmig gebaut, ohne dass bemerkbare Nachtheile daraus entstanden wären.[1])

Wollte man nun aber jene bei allen grösseren Hochöfen übliche Erweiterung oberhalb der Formebene sich bis zur Gicht hin fortsetzen lassen, so würden andere Nachtheile dadurch entstehen. Die Gicht würde einen sehr grossen Durchmesser erhalten, und die gleichmässige Vertheilung der aufzuschüttenden Schmelzmaterialien würde dadurch erschwert werden; die schon erwähnte Reibung der letzteren an den Ofenwänden aber würde durch die Trichterform des Ofenschachtes erheblich verstärkt werden, infolge davon würden die schwereren Theile der Beschickung (die Erze) nach der Mitte hin vorrollen, und der Ofengang würde noch unregelmässiger ausfallen, als bei cylindrischer Ofenform. Man begnügt sich daher, den Ofenschacht bis zu einem Theile der ganzen Ofenhöhe sich erweitern zu lassen, von hier aus nach der Gicht aber zur Innehaltung des geeigneten Gichtdurchmessers und zur Abminderung der Reibungswiderstände im oberen Theile des Ofens allmählich wieder zu verengen.

Auf diese Weise entsteht die in Fig. 68 angedeutete Urform der Hochöfen, welche schon vor Jahrhunderten auf Grund empirischer Versuche eingeführt wurde und noch jetzt bei verschiedenen Hochöfen — z. B. in den österreichischen Alpen — in Anwendung ist: zwei Kegel, welche mit ihren breiten Grundflächen an einander stossen. Die Ebene *ab*, in welcher der Ofen seinen grössten Durchmesser besitzt, heisst der Kohlensack, der Theil zwischen Kohlensack und Formebene die Rast, der Theil oberhalb des Kohlensacks Schacht (im engeren Sinne).

Der gleichmässigste Niedergang der Schmelzmaterialien wird stattfinden, wenn die Höhenlage des Kohlensacks eine solche ist, dass von hier aus abwärts die mit der Vergasung der Brennstoffe und Schmelzung der Erze Hand in Hand gehende Verkleinerung des Rauminhalts der aufgegichteten Schmelzmaterialien beginnt.

Als eine Abart dieser Ofenform kann die in Fig. 69 dargestellte betrachtet werden. Der Herd des Ofens oder der Eisenkasten, d. h. der unterhalb der Formen befindliche Sammelraum für Roheisen und Schlacken, ist hier etwas geräumiger als bei der ersten Form.

Will man graues Roheisen darstellen, so ist hierfür in Rücksicht auf die erforderliche Reduction von Silicium wie auf die grössere Streng-

1) „Stahl und Eisen“ 1887, Seite 167; 1888, Seite 121, 337.

flüssigkeit der Beschickung eine höhere Temperatur im Schmelzraume des Hochofens unmittelbar über den Formen erforderlich als für Weisseisendarstellung. In jetziger Zeit erzielt man diese hohe Temperatur allgemein durch Anwendung hoch erhitzten Gebläsewindes; aber die Anwendung dieses Mittels ist eine Erfindung des 19. Jahrhunderts, und die Vorrichtungen dazu wurden erst ganz allmählich vervollkommnet. Der gleiche Zweck lässt sich — obschon in weniger befriedigender Weise — erreichen, wenn man jene Erweiterung des Ofens nach oben hin nicht schon bei der Formebene, wie in Fig. 69, beginnen lässt, sondern den engeren Durchmesser der letzteren bis zu einer gewissen Höhe oberhalb der Formen beibehält (Fig. 70). Je enger der Querschnitt dieses unteren Theils ist, desto rascher werden die Gase hindurchziehen, desto weniger Wärme werden sie innerhalb dieses

Fig. 68.

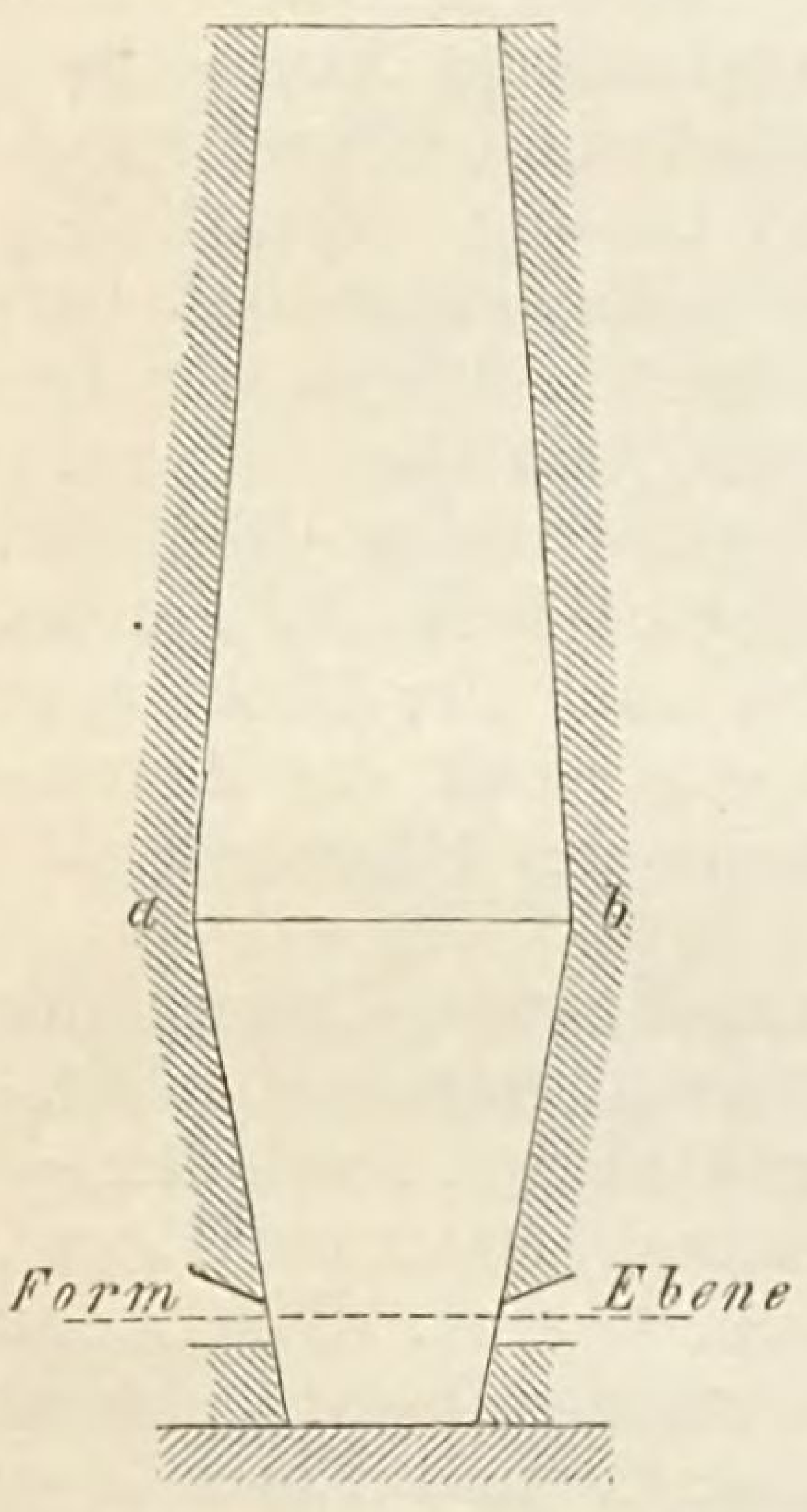


Fig. 69.

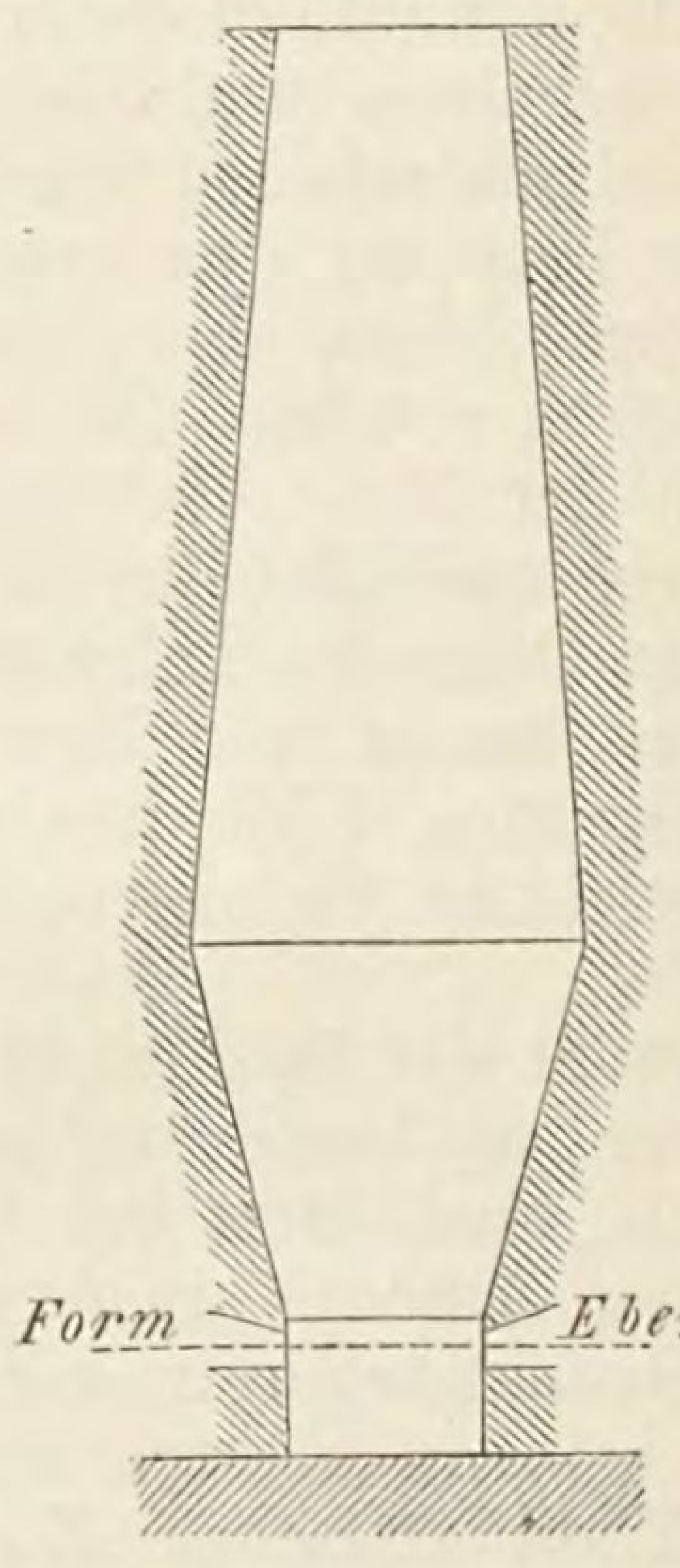
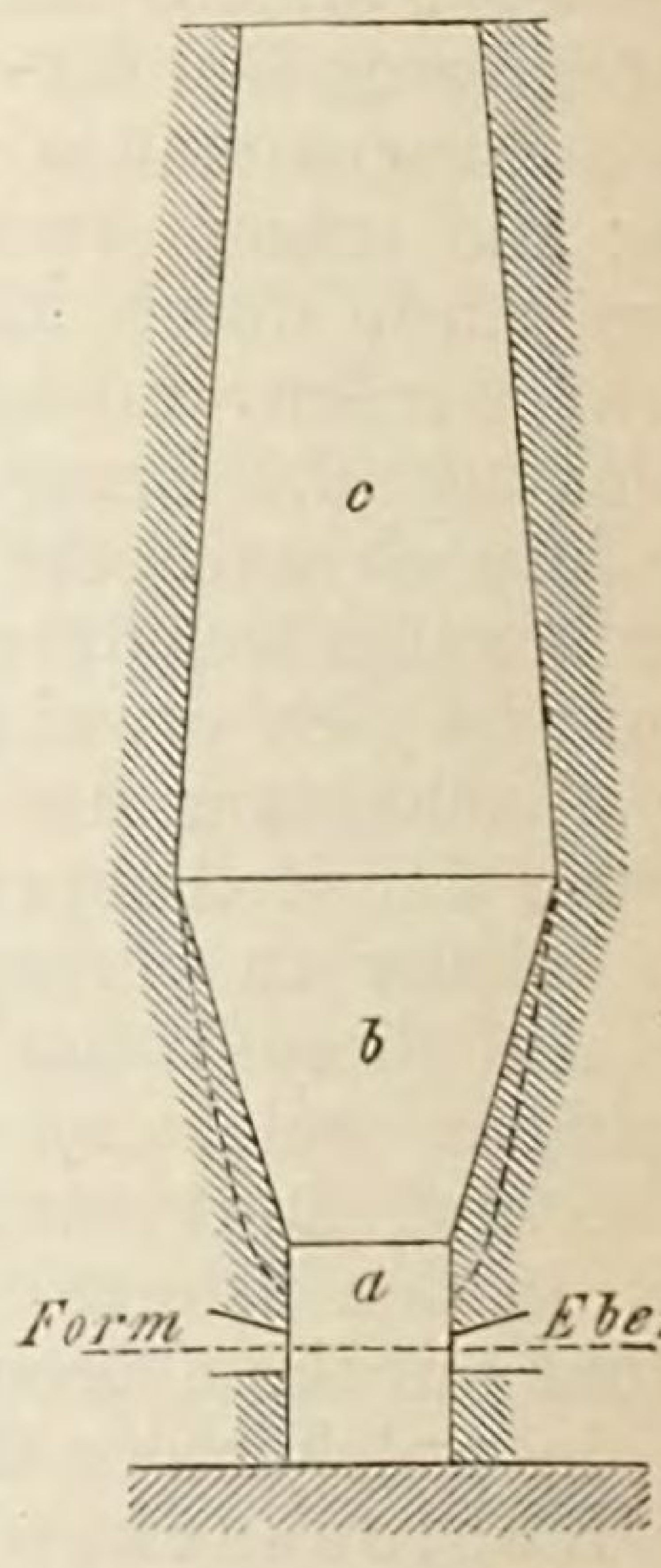


Fig. 70.



Querschnitts abgeben, desto weniger abgekühlt werden sie ihn verlassen. Ein solcher Ofen besteht demnach aus drei Theilen. Zu unterst, den Verbrennungsraum und Schmelzraum bildend, findet sich das Gestell *a*, cylindrisch (bei älteren Oefen vierseitig prismatisch) geformt oder ganz schwach nach oben sich erweiternd, eng im Durchmesser und nach unten wieder in dem Herde endigend; auf das Gestell setzt sich als Mittelstück die nach oben sich stark erweiternde Rast *b*; den oberen Theil des Ofens bildet der Schacht *c*.

Vor Einführung der Winderhitzung waren solche engen und hohen Gestelle allgemein üblich, wo man graues Roheisen erzeugen wollte (Abbildungen solcher Hochöfen aus früherer Zeit sind unten in Fig. 79 und 82 gegeben); und auch für Weisseisendarstellung hielt man vielfach die Anordnung eines eigentlichen Gestells — obschon niedriger und im Durchmesser weiter als für Graueisendarstellung — für zweckmässig.

Je enger und höher aber das Gestell ist, desto grösser ist auch die Gasspannung daselbst und desto grösser die erforderliche Arbeit zur Verdichtung des einzublasenden Windes. Mit voller Berechtigung hat man deshalb ein enges und hohes Gestell einem Hemmschuh verglichen, welcher einem Wagen auf ebener Strasse angelegt wird[1]; man erhöht entweder die erforderliche Arbeit zur Fortbewegung des Wagens, d. i. zum Betriebe des Hochofens, oder man verlangsamt die Bewegungsgeschwindigkeit, d. h. man verringert die Erzeugungsfähigkeit des Hochofens. Ausserdem schmelzen, wie die Erfahrung lehrte, die umgebenden Theile des Gestells und der Rast um so leichter weg, je enger der Ofendurchmesser an jenen Stellen ist (durch punktirte Linien in Fig. 70 angedeutet); der Ofen pflegt also verhältnissmässig rasch sich zu erweitern. Daher wurden die Gestelle auch der für Graueisendarstellung bestimmten Hochöfen immer niedriger und im Durchmesser weiter, auf je höhere Temperaturen man den Wind zu erhitzen lernte, und in jetziger Zeit pflegt man in der Wahl des Hochofenprofils keinen Unterschied zu machen, ob der Ofen für Grau- oder Weisseisendarstellung bestimmt ist, sondern in dem nämlichen Ofen je nach Bedarf beide Roheisengattungen zu erzeugen; aber Hochofenformen, wie in Fig. 70 dargestellt ist, mit eigentlichem Gestell, nur erheblich niedriger und im Durchmesser weiter als in alter Zeit, sind auch jetzt noch ziemlich üblich.

Alle scharfen Uebergänge in dem Ofenprofile werden naturgemäss Veranlassung zu Ungleichmässigkeiten in dem Niedergange der Schmelzmaterialien geben können. Auf der Erwägung dieses Umstandes beruht die Anwendung einer Hochofenform, wie sie durch Fig. 71 (S. 356) dargestellt ist. Als vermittelndes Glied zwischen Rast und Schacht ist ein Cylinder eingeschaltet, dessen Höhe bei einigen Oefen nur wenige Decimeter beträgt, bei anderen dagegen, z. B. bei manchen nordamerikanischen Hochöfen, einen beträchtlichen Theil der Gesammthöhe ausmacht. Da dieser Cylinder, wie der Kohlensack der bisher besprochenen Ofenformen, den weitesten Theil des ganzen Ofens bildet, pflegt man ihn ebenfalls als Kohlensack zu bezeichnen.

In weiterer Verfolgung des Bestrebens, scharfe Uebergänge in den Linien des Ofenprofils zu vermeiden, gelangt man dahin, dem Profile curvenförmige Begrenzungen zu geben (Fig. 72), welches Verfahren jedenfalls häufiger in Anwendung wäre, wenn nicht die Herstellung der für den Aufbau eines solchen Ofens erforderlichen passenden Steine mit grösseren Schwierigkeiten als bei gradliniger Begrenzung verknüpft wäre.

Eine allmähliche Zusammenziehung des Ofenschachts nach der Gicht zu, wie bei den bisher besprochenen Ofenformen, erleichtert, wie schon erwähnt, das gleichmässige Niedergehen der „Gichten", d. h. der in die Gicht eingeschütteten Materialien, und zugleich die Bedienung der Gicht selbst. Ein Uebermaass in dieser Beziehung ruft jedoch andere Uebelstände hervor. Ein enger Gichtdurchmesser bedingt eine beschleunigte Geschwindigkeit der austretenden Gase, die wiederum eine erhöhte Gasspannung im Ofeninnern zur Folge hat und

1) E. Schinz, Studien über den Hochofen, Seite 80.

nur durch verstärkte Arbeitsleistung der Gebläsemaschine zu erreichen ist; eine zu starke Neigung der Seitenwände macht eine rasche Ausbreitung der Gichten bei ihrem Niedergange nothwendig, welche leicht eine Auflockerung an den Wänden, also gerade da, wo eine dichtere Lagerung erwünscht ist, zur Folge hat und somit das Gegentheil des beabsichtigten Erfolgs bewirkt. Nachdem diese Nachtheile einer zu engen Gicht, insbesondere die dadurch hervorgerufene Beschränkung der Leistungsfähigkeit eines Ofens, verschiedentlich beobachtet, die Vortheile weiterer Gichten erkannt worden waren, gab man auf verschiedenen Werken die übliche Kegelform des oberen Schachts auf und ging zu einer cylindrischen Form über, wodurch dann die in Fig. 73 veranschaulichte Ofenform entstand. Die Erfahrung hat jedoch in den meisten Fällen gelehrt, dass eine schwache Zusammenziehung

Fig. 71.

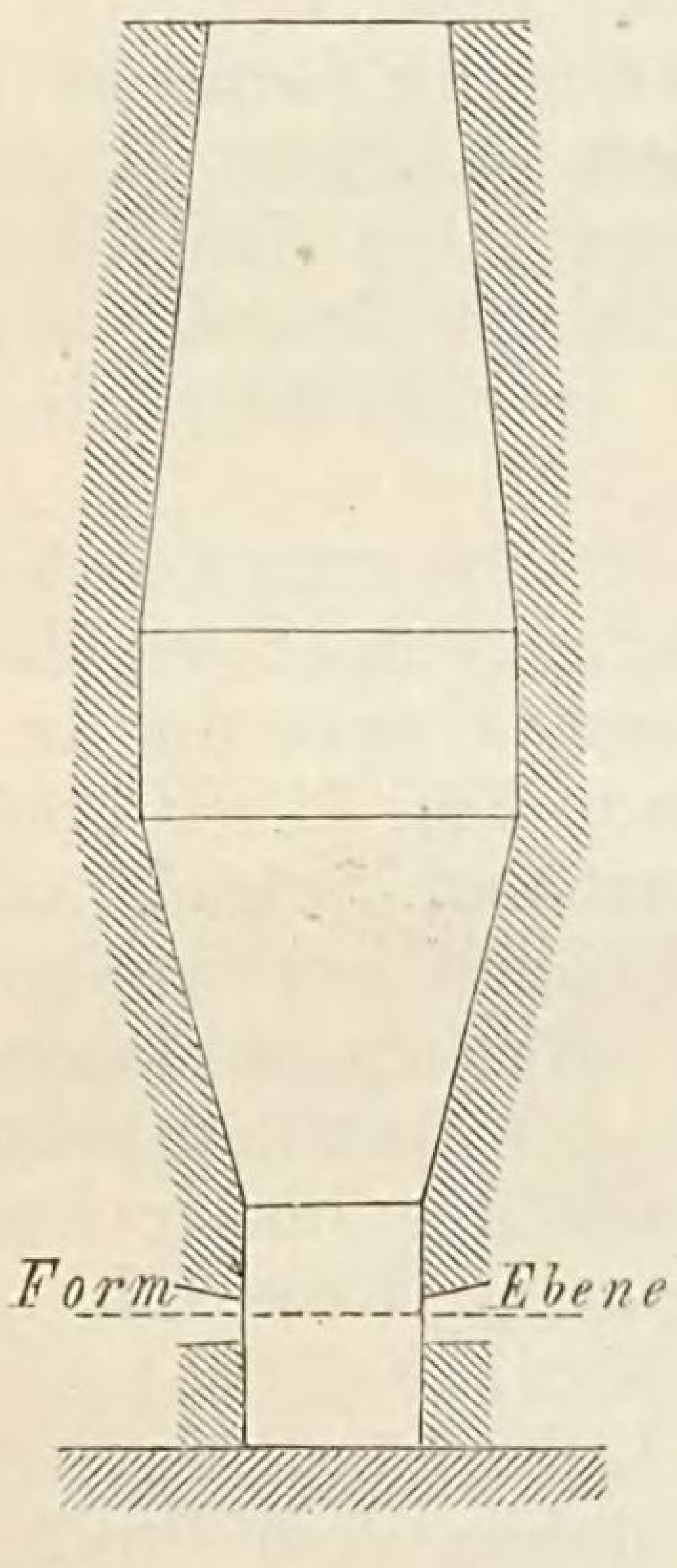


Fig. 72.

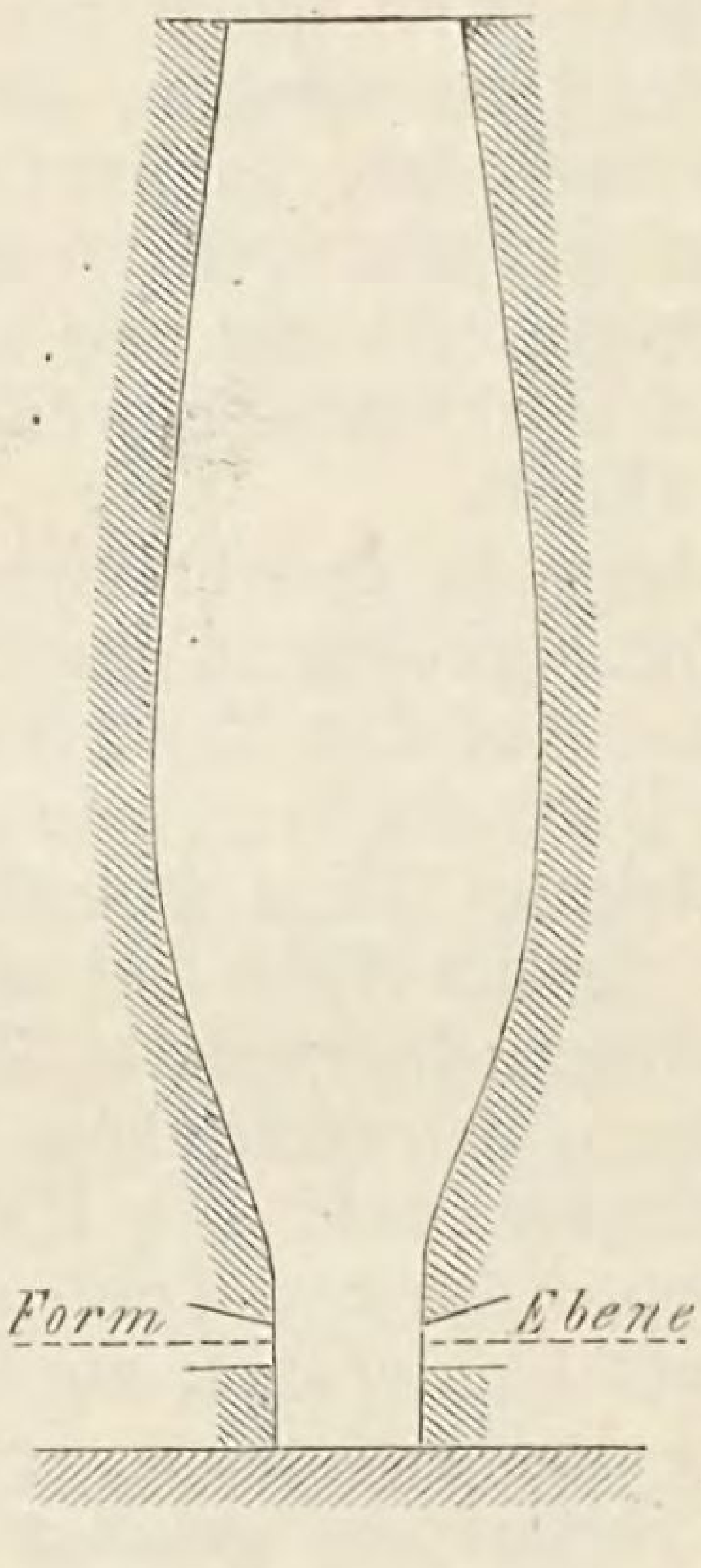
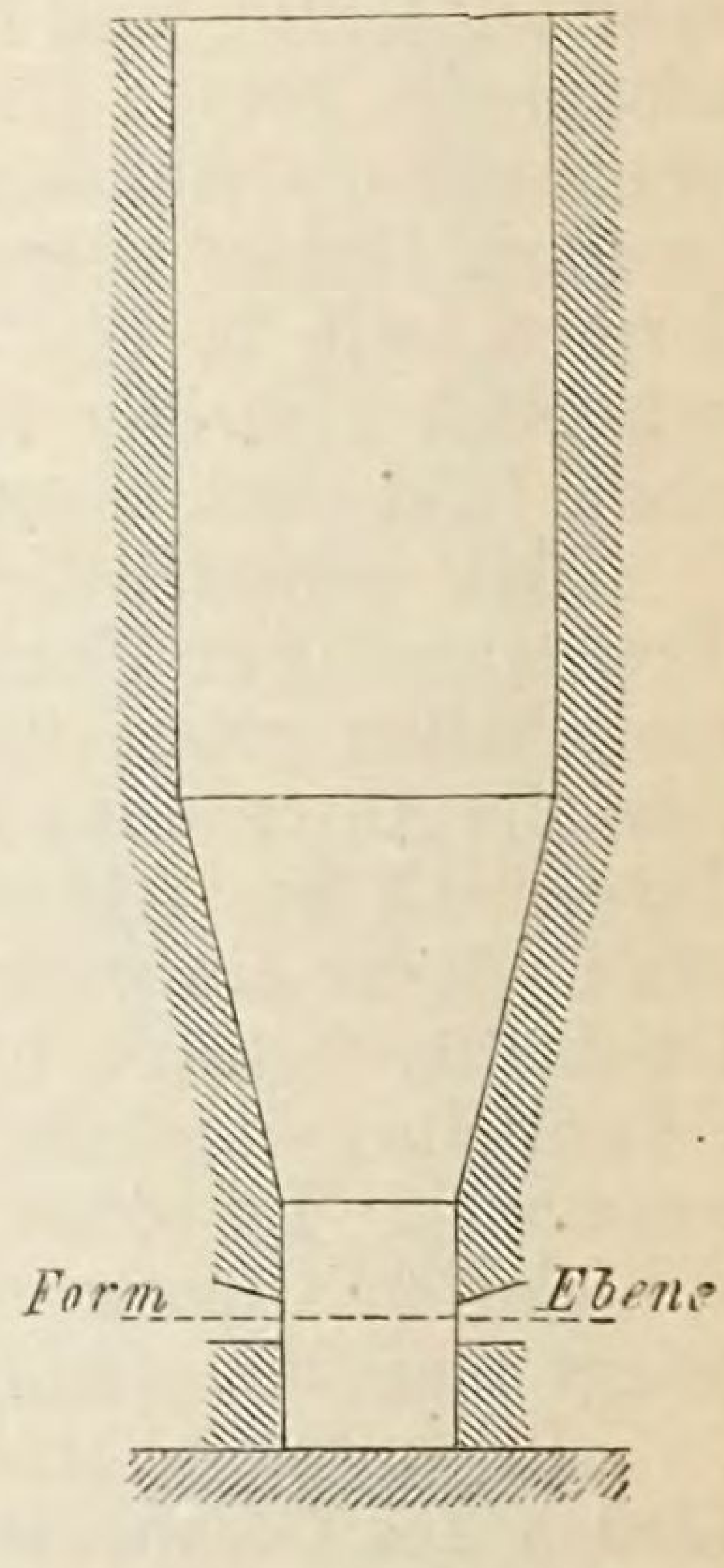


Fig. 73.



des oberen Schachts nach der Gicht zu für das gleichmässige Niederrücken der festen Körper von Nutzen ist; und jene Ofenform ist daher selten geblieben.

Abgesehen von den zahlreichen Abweichungen in den Profilen der Hochöfen, von denen in Vorstehendem nur die am deutlichsten ausgeprägten Formen beschrieben werden konnten, lassen sich nach der Einrichtung des Herds, d. h. des unterhalb der Windformen befindlichen Sammelraums für Roheisen und Schlacke, zwei abweichende Ofengattungen unterscheiden.

Bei den zu der ersten dieser Ofengattungen gehörigen Oefen, welche man als Hochöfen mit geschlossener Brust (auch wohl als Tiegelöfen) zu bezeichnen pflegt, ist der Herd, wie es Fig. 74 erkennen lässt, ringsum geschlossen und bildet somit lediglich eine

Verlängerung des Gestells (oder der Rast) nach unten. In der Seitenwand des Herds unmittelbar über dem Boden ist an einer geeigneten Stelle eine ausreichend grosse Oeffnung zum Ablassen des Roheisens angebracht, der Roheisenstich oder das Stichloch, welche durch Sand oder feuerfesten Thon geschlossen gehalten und nur von Zeit zu Zeit geöffnet wird, wenn das „Abstechen“ des Roheisens vor sich gehen soll. An einer höher gelegenen Stelle, etwas unterhalb der Formebene

Fig. 74.

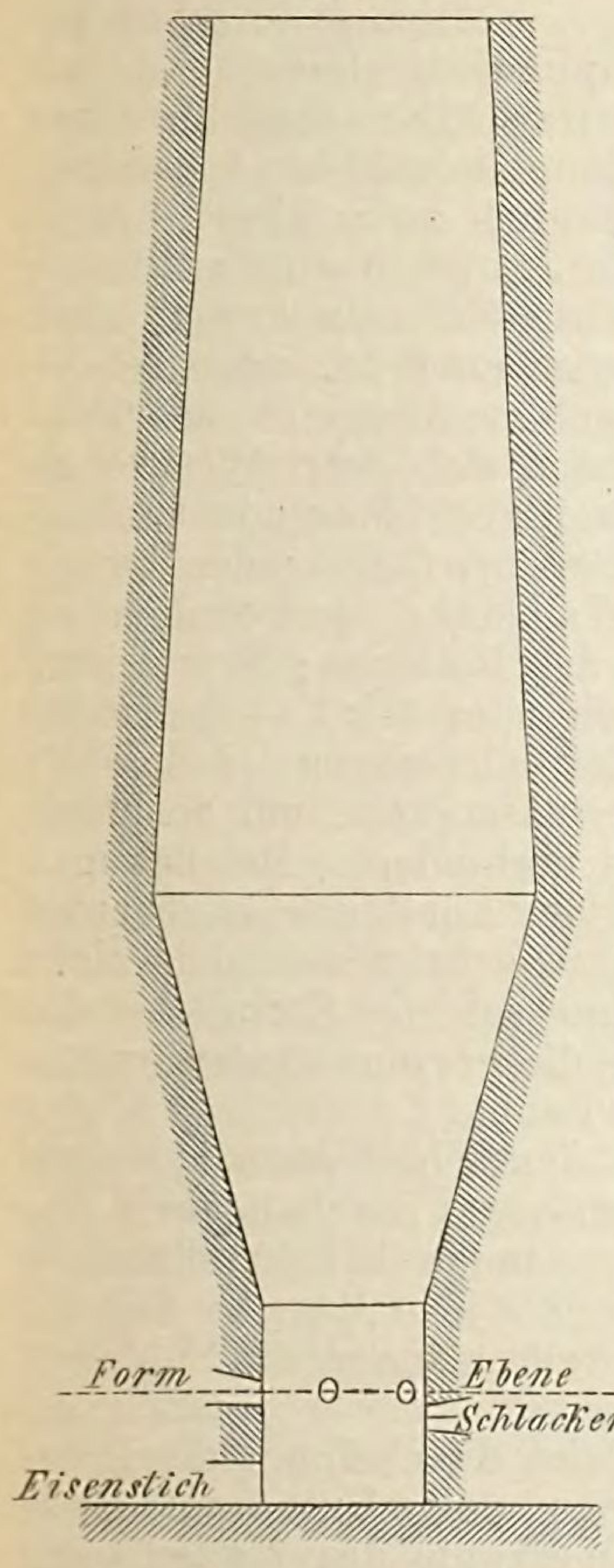
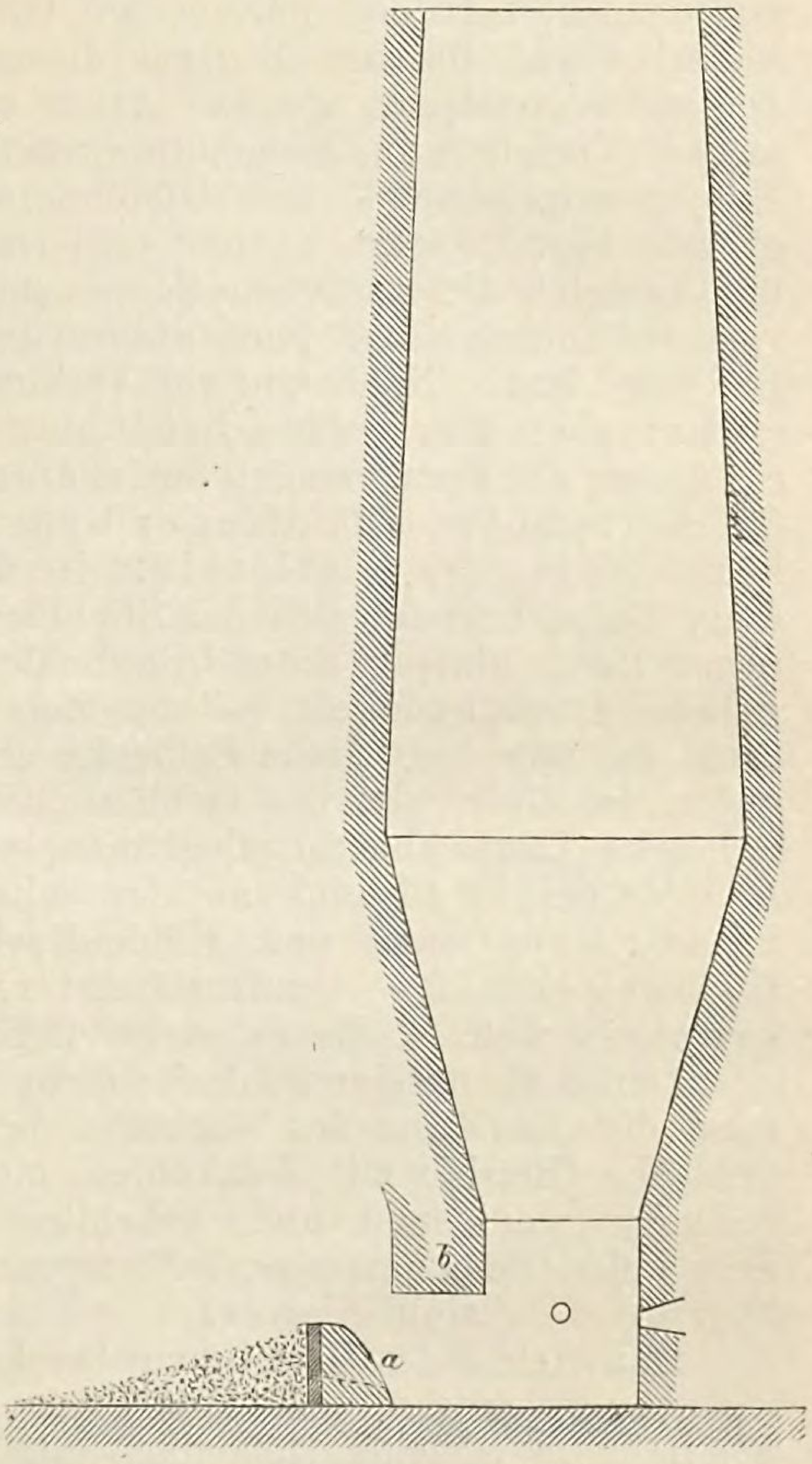


Fig. 75.



und gewöhnlich an einer anderen Seite des Ofens als der Eisenstich ist eine zweite kleinere Oeffnung, die Schlackenöffnung oder der Schlackenstich angebracht, durch welche man die gebildete Schlacke entweder ununterbrochen abfliessen lässt oder von Zeit zu Zeit absticht. Die Lage dieser Schlackenöffnung bezeichnet also die Höhe, bis zu welcher überhaupt die geschmolzenen Massen im Ofen ansteigen können.

Diese Einrichtung wurde bei den ältesten aller Hochöfen, den schon erwähnten Blauöfen, angewendet, und man bezeichnet deshalb

in einzelnen Gegenden auch jetzt noch die Hochöfen mit geschlossener Brust als Blauöfen. Das Innere des Gestells und Herds ist nur durch die verhältnissmässig engen Windformen und den Schlackenstich zugänglich; die Bildung einer dünnflüssigen Schlacke ist bei Anwendung der geschlossenen Brust nothwendig, damit nicht durch erstarrte Massen Versetzungen im Innern entstehen, welche den Fortgang des Schmelzens in Frage stellen können und sich nur mit Schwierigkeit beseitigen lassen würden.

Dickflüssige, leicht erstarrende Schlacken entstehen aber vorzugsweise leicht bei dem Betriebe auf Graueisen, welcher, wie schon erläutert wurde, bis zum Beginne dieses Jahrhunderts üblicher war als der auf Weisseisen. Es war daher ein vortrefflicher Gedanke eines unserer Vorfahren im Eisenhüttenwesen — kein Gedenkblatt hat seinen Namen verzeichnet — das Ofeninnere zugänglich zu machen, indem er, wie Fig. 75 zeigt, an der vorderen Seite den Stein *a* herausrückte und zugleich die seitlichen Begrenzungen des Ofenherds so weit nach vorn verlängerte, dass jener Stein wieder zwischen ihnen seine sichere Stellung fand. Nach wie vor verhindert er das Austreten des Roheisens; aber über seinen Rand hinweg lassen sich jetzt Werkzeuge einführen, um Versetzungen im Innern zu beseitigen. Man nennt solche Oefen Hochöfen mit offener Brust oder Sumpföfen; der Stein *a* heisst Wall oder Wallstein. In dem Wallsteine, gewöhnlich an einer Seite, befindet sich das Stichloch für das Roheisen; über seinen obern Rand hinweg fliesst die Schlacke ab oder wird — bei mangelnder Dünnflüssigkeit — von Zeit zu Zeit abgezogen. Jedenfalls dient die hier befindliche Schlacke als Sperrflüssigkeit, um das Austreten der Gase oder des Gebläsewindes zu verhindern. Bei flüssiger Schlacke (Laufschlacke) pflegt man, wie in der Abbildung angedeutet ist, vor dem Wallsteine an der Seite, wo das Stichloch sich nicht befindet, aus Sand und Kohlenlösche eine schiefe Ebene — die Schlackentrift — aufzustürzen und in dieser eine Gosse auszusparen, in welcher die Schlacke abfliessen kann.

Damit die flüssige Schlacke nicht bis zu den Windformen ansteige, muss die Oberkante des Wallsteins bei zähflüssiger Beschaffenheit der Schlacke (Betrieb mit Holzkohlen) ein wenig tiefer, bei dünnflüssiger Schlacke wenigstens nicht erheblich höher als jene liegen. Die im Innern des Ofens herrschende Gasspannung treibt alsdann die Schlacke über den Wallstein hinweg.

Den Stein *b* des Gestellmauerwerks, welcher die Oeffnung der Brust von oben abschliesst, nennt man Tümpelstein. Seine Unterkante muss ungefähr in gleicher Höhenlage mit der Oberkante des Wallensteins sich befinden oder darf nur wenig höher liegen, damit die Schlacke ihre Aufgabe als Sperrflüssigkeit erfüllen kann und nicht die Gase des Hochofens dennoch unter dem Tümpelsteine hinweg ihren Weg nach aussen nehmen können.

Die Einrichtung der Oefen mit offener Brust, welche schon gegen Ende des 13. Jahrhunderts erfunden worden sein soll, bewährte sich vortrefflich, und Jahrhunderte hindurch bildeten die Hochöfen dieser Art die Regel, die Oefen mit geschlossener Brust die Ausnahme. Nur wo man aus manganhaltigen Erzen bei dünnflüssiger Schlacke weisses

Roheisen erzeugte, wendete man vereinzelt wohl Oefen mit geschlossener Brust an. Die Schlacke liess man in diesem Falle unmittelbar durch eine Oeffnung in einem Steine des Gestells ausfliessen; hierbei konnte es nicht ausbleiben, dass jener Stein bald ausgefressen wurde und häufige Auswechselungen sich erforderlich machten. Schon dieser Uebelstand allein bildete ein schwerwiegendes Hinderniss für die allgemeinere Einführung der Einrichtung.

Auch jene Einrichtung der offenen Brust besitzt jedoch ihre schwache Seiten. Tümpel- und Wallstein sind häufigen Beschädigungen unterworfen und müssen von Zeit zu Zeit ausgewechselt werden, welche Arbeit während des Betriebs nur mit Mühe sich bewerkstelligen lässt; schwerer noch fällt der Umstand in die Wagschale, dass naturgemäss nach dem Ablassen des Roheisens die Oberfläche der Schlacke im Herde sinkt, die Unterkante des Tümpels frei zu liegen kommt und die Hochofengase darunter hinweg ihren Weg nach aussen finden würden, sofern man weiter bliese. Um also die Entstehung einer langen, unter dem Tümpel herausschlagenden Flamme zu vermeiden, welche überhaupt das Arbeiten vor dem Ofen unmöglich machen würde, muss das Gebläse während des Abstechens zum Stillstand gebracht werden; dann wird der Herd gereinigt, mit Lösche gefüllt, welche einen vorläufigen Verschluss der Oeffnung zu bilden bestimmt ist, und nun erst kann das Blasen wieder beginnen. Durch diesen längeren Stillstand des Gebläses wird nicht allein unmittelbar die Leistung des Ofens geschmälert; es tritt auch eine Abkühlung des Gestells ein, welche nicht selten Unregelmässigkeiten des Schmelzgangs zur Folge hat und durch erhöhten Brennstoffaufwand wieder ausgeglichen werden muss.

Jener Umstand aber, welcher die ursprüngliche Veranlassung zur Einführung der offenen Burst bei Eisenhochöfen gewesen war, fiel mehr und mehr weg, als man anfing, die Hochöfen mit erhitztem Winde zu betreiben. Die Temperatur im Schmelzraume des Ofens stieg; Versetzungen durch erstarrte Massen wurden seltener; die Schlacke wurde stärker überhitzt und dadurch zum freien Abfliessen befähigter. Vorläufig aber blieb noch der schon erwähnte Uebelstand bestehen, dass die Oeffnung im Steine, durch welche bei geschlossener Brust die Schlacke ausfliessen muss, durch die Schlacke selbst rasch erweitert wurde. Durch die Einführung der von F. W. Lürmann im Jahre 1867 erfundenen, unten ausführlicher besprochenen sogenannten Schlackenform, einer wassergekühlten Metallhülse als Schutz für jene Oeffnung im Steine [1]), ist auch jener Nachtheil beseitigt worden. Seit dieser Zeit haben in allen Ländern, wo man Roheisen erzeugt, die Hochöfen mit geschlossener Brust, die alten Blauöfen, jene später eingeführten Oefen mit Tümpel- und Wallstein mehr und mehr wieder verdrängt. Eine triftige Veranlassung zur Beibehaltung der letzteren Ofenform liegt nur da vor, wo man durch die Verhältnisse gezwungen ist, strengflüssige, leicht erstarrende Schlacken zu erzeugen, bei Graueisendarstellung mit Holzkohlen aus kieselsäurereichen Erzen und in einigen anderen Fällen.

1) Ueber Erfindung der Schlackenform vergleiche „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 553.

Regeln für den Entwurf des Hochofenprofils.

In Vorstehendem wurden verschiedene Formen der Hochöfen und ihre Beziehungen zu dem Verlaufe des Hochofenschmelzens besprochen. Unmöglich ist es, eine einzige Form als die unter allen Umständen geeignetste zu bezeichnen; und nicht lässt sich in Abrede stellen, dass verschiedene Hochofenformen unter übrigens gleichen Verhältnissen gleich befriedigende Erfolge liefern können. Ein und derselbe Hochofen bleibt, auch wenn durch fortgesetzten Betrieb seine inneren Abmessungen sich erheblich verändert haben, doch oft noch lange Zeit gleich gut als im Anfange benutzbar. Immerhin aber müssen die gegenseitigen Verhältnisse der Abmessungen eines Hochofenprofils, wie sich aus den früheren Besprechungen ergiebt und durch die Erfahrungen des Betriebs bestätigt wird, innerhalb gewisser Grenzen liegen, wenn befriedigende Erfolge erreicht werden sollen.

Rauminhalt der Hochöfen. Von dem Rauminhalte ist unter übrigens gleichen Verhältnissen die Leistungsfähigkeit des Hochofens, d. h. die Grösse der Roheisenerzeugung innerhalb eines bestimmten Zeitraums, abhängig. Diese Thatsache bedarf keines Beweises. Je grösser der Rauminhalt ist, desto mehr Erze, Zuschläge und Brennstoffe können innerhalb der gleichen Zeit vorbereitet, geschmolzen, verbrannt werden. Während daher im Anfange dieses Jahrhunderts, so lange der Roheisenbedarf noch verhältnissmässig gering war, die meisten der mit Holzkohlen betriebenen Hochöfen nicht mehr als 6 bis 10 cbm, die damals erst im Entstehen begriffenen Kokshochöfen selten mehr als 50 cbm Inhalt besassen, steigerte man mit dem zunehmenden Bedarf an Roheisen mehr und mehr den Fassungsraum der Hochöfen. Da die Steigerung des Roheisenbedarfs vorzugsweise durch die Einführung der Eisenbahnen hervorgerufen wurde, zeigt sich jene Zunahme der Ofengrösse vorzugsweise von dem Jahre 1830 an. In den fünfziger Jahren pflegte man neuen Kokshochöfen bereits einen räumlichen Inhalt von 120—150 cbm zu geben; 1860 gab es in Schottland und Wales Oefen mit einem Inhalte bis zu 230 cbm. 1861 wurden zu Thornaby drei Hochöfen mit einem Rauminhalte von je 362 cbm errichtet, 1864 steigerte man bei den Hochöfen zu Southbank den Rauminhalt auf 450 cbm, 1866 bei den Hochöfen zu Tees-Side auf 566 cbm, 1867 in Norton auf 736 cbm, 1868 in Middlesborough auf 815 cbm und 1870 in Ormsby auf 1165 cbm.

Eine fernere erhebliche Steigerung der Grösse der Hochöfen hat nicht stattgefunden. Die Erfahrung lehrte, dass, wenn auch der grössere Ofen naturgemäss die grössere Leistungsfähigkeit besitzt, doch die Zunahme der letzteren gewöhnlich nicht in demselbeu Maasse als die Zunahme des Rauminhalts stattfindet und immer unbedeutender wird, je mehr der Ofeninhalt vergrössert wird. Der kleinste Ofen besitzt im Allgemeinen die bedeutendste Leistung für je 1 cbm seines räumlichen Inhalts. Während in den kleinen, im Anfange dieses Jahrhunderts üblichen Hochöfen auf je 1 cbm Rauminhalt mitunter mehr als 500 kg Roheisen täglich erzeugt wurden, gehört bei den jetzigen grösseren Oefen eine solche auf die Einheit ihres Rauminhalts bezogene Tagesleistung zu den seltenen Vorkommnissen, obschon durch Einführung

der Winderhitzung die Erzielung hoher Tageserzeugungen seitdem wesentlich erleichtert worden ist. Gerade jene sehr grossen Hochöfen vermögen auf je 1 cbm Rauminhalt bisweilen nicht mehr als etwa 120 kg Roheisen täglich zu liefern.[1])

Die Erscheinung findet ihre Erklärung zum Theil in dem Umstande, dass man bei jenen grossen Hochöfen die Leistungsfähigkeit der Gebläse nicht in gleichem Verhältnisse gesteigert hat als den räumlichen Inhalt des Ofens. Wollte man dem grösseren Hochofen die gleiche Windmenge für je 1 cbm seines räumlichen Inhalts zuführen als einem kleineren, so müsste nicht allein die Gesammtmenge, sondern auch die Spannung des eintretenden Windes zunehmen, da die Widerstände, welche die Gase beim Durchdringen der Schmelzsäule des grösseren Ofens finden, beträchtlicher sind als bei dem kleineren Ofen, und der Wind nur durch entsprechend höhere Spannung befähigt wird, jene Widerstände zu überwinden. In dieser Beziehung aber gelangt man bald an die Grenze des Zweckmässigen. Die erforderliche Arbeitsleistung zur Beschaffung der gleichen Windmenge wächst, die Windverluste werden beträchtlicher, wenn die Windspannung zunimmt.

Ein anderes Ziel, welches man bei jener Vergrösserung der Hochöfen im Auge hatte, war die Verringerung des Brennstoffverbrauchs für Erzeugung einer bestimmten Menge Roheisen. Nun ist es unbestreitbar, dass in einem grösseren Ofen die Wärmeverluste verhältnissmässig unbedeutender sind als in einem kleineren, dass mithin der Brennstoffverbrauch niedriger ausfallen wird, wenn man einen allzu kleinen Ofen vergrössert; aber diese Abnahme des Brennstoffverbrauchs hält ebenfalls nicht gleichmässig Schritt mit jener Zunahme des Rauminhalts, sondern wird immer unbedeutender, je grösser der letztere bereits war. Ein genauer Vergleich der Einflüsse, welche die verschiedene Grösse der Hochöfen auf den Brennstoffverbrauch ausübt, ist nur möglich, wenn die betreffenden Oefen unter übrigens gleichen Verhältnissen betrieben wurden, insbesondere also, wenn auf einem und demselben Eisenwerke die Hochöfen nach und nach vergrössert wurden, ohne dass die übrigen Betriebsverhältnisse wesentliche Aenderungen erfuhren. Durch Gruner sind in jener Zeit, wo man über die zweckmässigste Grösse der Hochöfen vielfach abweichender Ansicht war, vergleichende Zusammenstellungen der mit Oefen verschiedener Grösse erlangten Betriebsergebnisse gefertigt worden[2]) und die nachstehenden Ziffern (Seite 362) sind jenen Zusammenstellungen entnommen.

Die Ursache, weshalb auch die Abnahme des Brennstoffverbrauchs nicht mit der Grössenzunahme des Ofens Schritt hält, und weshalb insbesondere die Ersparung an Brennstoff ziemlich vollständig aufhört, sobald die Grösse des Ofens ein gewisses Maass erreicht hat, ist leicht aufzufinden. Selbstverständlich ist es, dass es ein gewisses geringstes Maass des Brennstoffverbrauchs geben muss, welches niemals

1) Dass übrigens die Roheisenerzeugung eines bestimmten Hochofens nicht allein durch seine Grössenverhältnisse, sondern sehr wesentlich auch durch verschiedene andere Dinge — Eisengehalt der Beschickung, Beschaffenheit des erfolgenden Roheisens u. a. m. — bedingt ist, möge hier nur kurze Erwähnung finden. Ausführlicheres hierüber bei Besprechung der Betriebsergebnisse.

2) Annales des mines, série 7, tome XII, p. 472.

Bezeichnung des Hochofens	Rauminhalt des Hochofens cbm	Brennstoffverbrauch für 1000 kg erzeugtes Roheisen kg
Lölling in Kärnten, Weisseisendarstellung mit Holzkohlen, 1808	8,5	875
Ebenda 1875	52,0	675
Treibach, wie vorstehend, 1873	28,5	800
Ebenda 1875	53,0	625
Hieflau, wie vorstehend, 1869—1874	32,0	750
Ebenda 1876	100	750
Clarence, Graueisendarstellung mit Koks, 1853	170	1430
Ebenda 1865	330	1125
Ebenda 1866	440	1125
Ebenda 1870	700	1125
Ferryhill, wie vorstehend, vor 1870	453	1025
Ebenda 1870	935	etwa 1000

unterschritten werden kann, wenn der erforderliche Wärmeaufwand für Reduction, Schmelzung u. s. w. gedeckt werden soll; und je mehr der wirkliche Brennstoffverbrauch sich jenem Maasse nähert, desto weniger Brennstoff wird sich noch durch fernere Vergrösserung des Ofens ersparen lassen.

Mit dem Rauminhalte und insbesondere der Höhe des Ofens, welche mit ersterem wachsen muss, wenn der Betrieb befriedigende Ergebnisse liefern soll, steigern sich die Anlage- und Betriebskosten. Die grössere Ofenhöhe macht eine vermehrte mechanische Arbeit zum Hinaufschaffen der Schmelzmaterialien wie zur Verdichtung der Gebläseluft erforderlich. Es muss ein Maass der Ofengrösse geben, dessen Ueberschreiten mehr Nachtheil als Nutzen bringt. Auf dem europäischen Festlande, insbesondere in Deutschland, pflegt man für den Betrieb mit Koks die Oefen in der Jetztzeit nicht kleiner als 300 cbm und nicht erheblich grösser als 500 cbm zu bauen; die meisten nordamerikanischen Hochöfen für den Betrieb mit Koks oder Anthrazit besitzen gleichen Rauminhalt als die deutschen, einige bis 600 cbm; neuere Hochöfen im Clevelandbezirke haben 850 cbm Inhalt.[1])

Zum Theil muss der Rauminhalt des Ofens von der Beschaffenheit des zur Verwendung stehenden Brennstoffs abhängig sein. Je leichter verbrennlich und je kleinstückiger dieser ist, bei desto kleineren Abmessungen wird jene Grenze erreicht, wo eine fernere Vergrösserung keinen Nutzen mehr bringt, insbesondere nicht mehr zur Ersparung an Brennstoff beizutragen vermag. Die Thatsache findet ihre Erklärung in dem Umstande, dass jede in dem oberen Theile des Ofens stattfindende Umwandlung von Kohlensäure, welche durch Einwirkung von Kohlenoxyd auf Eisenoxyde entstanden war, in Kohlenoxyd durch Aufnahme eines zweiten Atoms Kohlenstoff (Seite 40) gleichbedeutend ist mit einer nutzlosen Entführung dieses Kohlenstoffs aus dem Ofen. Je leichter verbrennlich und je kleinstückiger aber der Brennstoff und je

1) Journal of the Iron and Steel Institute 1887, I, p. 95.

länger die gegenseitige Berührung, d. h. je grösser der Ofen ist, desto leichter wird jener für die Brennstoffausnutzung nachtheilige Vorgang sich vollziehen. Daher baut man Holzkohlenhochöfen selten grösser als mit 100 cbm Inhalt; die meisten europäischen Holzkohlenhochöfen sind erheblich kleiner. Ausnahmsweise grosse Holzkohlenhochöfen, zum Theil mit noch mehr als 100 cbm Inhalt, finden sich in Nordamerika.

Auch die Beschaffenheit der zu verhüttenden Erze spielt hierbei eine Rolle. Feinstückige, dichtliegende Erze (wie z. B. in Oberschlesien verhüttet werden) lassen die Anwendung niedrigerer und deshalb auch ihrem Rauminhalte nach kleinerer Oefen zweckmässig erscheinen als grobstückige Erze, welche den Gasen leichter als jene Durchgang gewähren.

Verhältniss zwischen Durchmesser und Höhe der Oefen. Sowohl durch eine allzu beträchtliche Höhe des Hochofens im Verhältnisse zum Ofendurchmesser (im Kohlensack) als umgekehrt durch einen zu reichlichen Durchmesser bei gegebener Ofenhöhe werden nachtheilige Einwirkungen auf den Schmelzgang hervorgerufen. Bei engem Durchmesser und grosser Höhe sind die Widerstände, welche die Gichten bei ihrem Niedergange und die Gase bei ihrem Aufsteigen finden, beträchtlicher; eine höhere Windspannung ist erforderlich, um die gleiche Menge Wind als bei einem niedrigeren Ofen einzuführen, und diese stärkere Windspannung kann, wie schon oben erwähnt wurde, nur durch vermehrte Arbeitsleistung der Betriebsmaschine hervorgebracht werden. Ist der Ofen aber zu weit, so treten die Unregelmässigkeiten stärker hervor, welche der Niedergang der Schmelzmaterialien durch ihre Reibung an den Wänden erleidet. In der Mitte des Ofenquerschnitts, wo diese Reibung nicht stattfindet, tritt ein starkes Voreilen der Körper ein. Die dichteren Bestandtheile der Schmelzsäule, die Erze rollen nach der Mitte hin, hier sich anhäufend und den Gasen den Durchgang erschwerend, die Kohlen bleiben an den Wänden. Die gleichmässige Einwirkung der Gase auf die Erze wird dadurch beeinträchtigt. Je grösser der Ofenquerschnitt ist, desto stärker werden die in der Mitte befindlichen Körper voreilen, desto deutlicher die Folgen davon zu Tage treten.

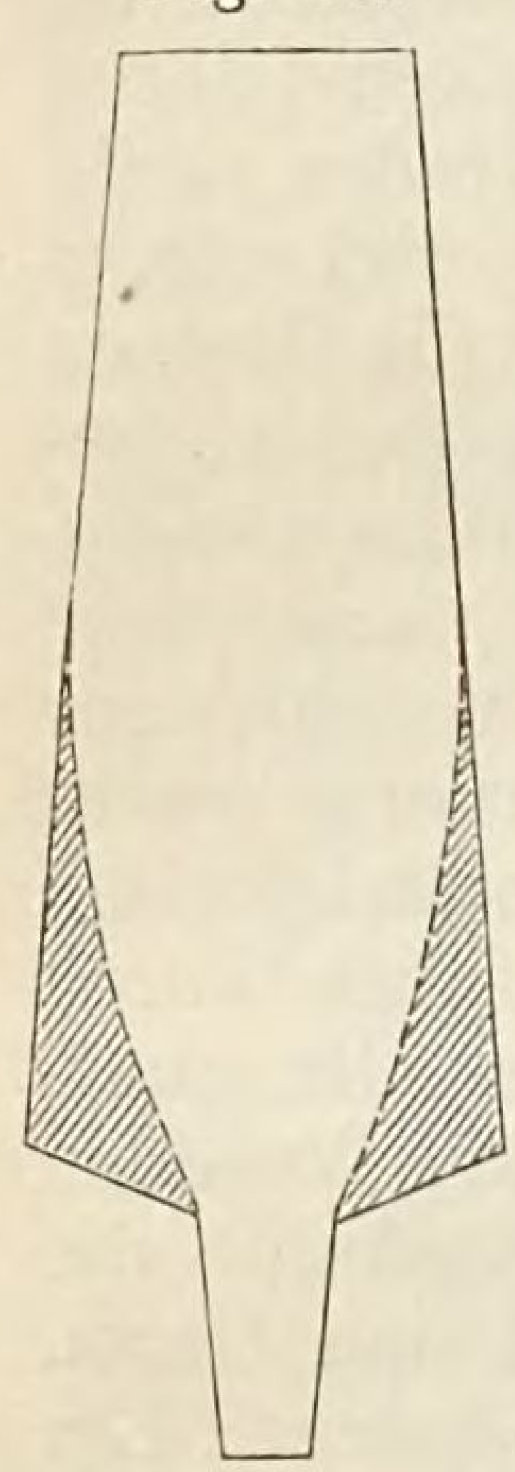
Auf Erfahrung fussend pflegt man das Verhältniss der Höhe zum Kohlensackdurchmesser selten kleiner als 3 und selten grösser als 4 zu nehmen; bei den meisten Oefen beträgt es 3,2 bis 3,6. Für den Brennstoffverbrauch ist eine schlanke Form des Hochofenprofils (grosse Höhe bei geringem Durchmesser) eher günstig als nachtheilig; bei Hochöfen, in welchen ausschliesslich Weisseisen dargestellt werden soll, sind grosse Durchmesser weniger nachtheilig als bei solchen für Graueisendarstellung. Die grössten bis jetzt gebauten Hochöfen haben 28 m Höhe bei 9,5 m Kohlensackdurchmesser, die meisten der jetzt bestehenden Kokshochöfen 18 bis 24 m Höhe bei 5 bis 7 m Durchmesser.

Gichtdurchmesser. Der Einflüsse, welche durch eine zu enge wie durch eine zu weite Gicht auf den Schmelzgang ausgeübt werden, ist bereits oben (S. 355 und 356) gedacht worden.

Auf den Kohlensackdurchmesser bezogen findet man das Verhältniss des Gichtdurchmessers wie 1 : 1 (cylindrischer Schacht) bis 1 : 2, meistens jedoch wie 3 : 4 bis 5 : 6.

Rastwinkel und Lage des Kohlensacks. Je steiler der Rastwinkel ist, desto allmählicher findet der Uebergang zwischen der weitesten und der engsten Stelle des Ofens, dem Kohlensack und der Formenebene, statt; je allmählicher dieser Uebergang ist, desto gleichmässiger wird im Allgemeinen der Niedergang der Schmelzmaterialien sich vollziehen. Man pflegt daher bei neueren Hochöfen Rastwinkel von mindestens 65 Grad, häufiger von 70—80 Grad anzuwenden. Von der Grösse des Rastwinkels und der Höhenlage jener Stelle, wo die Rast unten mündet, hängt die Höhenlage des Kohlensacks ab. Gewöhnlich beträgt diese Höhe über dem Boden $1/3$ bis $1/2$ der ganzen Ofenhöhe; eine höhere Lage dürfte dem regelmässigen Verlaufe des Hochofenschmelzens nicht günstig sein.

Fig. 76.



Dass übrigens auch ganz flache, tellerartige Rasten, welche noch in den sechziger Jahren auf mehreren Eisenwerken des Harzes seit Alters her üblich waren und vielleicht jetzt noch hier und da zur Anwendung kommen (Fig. 76), unter Umständen ganz gute Erfolge geben können, unterliegt keinem Zweifel. Auf der flachen Rast baut sich, wie es durch Schraffirung in der Skizze angedeutet ist, aus Kohlen ein sogenannter todter Mantel auf, innerhalb dessen die Schmelzsäule niedergleitet; es entsteht eine natürliche Rast, deren Form von der Beschaffenheit der Materialien abhängig ist und vielleicht gerade deshalb am besten dem Zwecke entspricht. Am wenigsten gut haben sich mittelsteile Rasten (40 bis 60 Grad) bewährt, welche um die Mitte dieses Jahrhunderts ziemlich üblich waren.

Durchmesser des Ofens vor den Formen; Höhe des Gestells. Die Gründe, welche eine Zusammenziehung des Ofenprofils in der Formgegend zweckmässig erscheinen lassen, sowie die Nachtheile eines zu engen und hohen Gestells wurden bereits oben besprochen. Mit je grösserer Geschwindigkeit der Wind in den Ofen geführt wird, desto weiter kann der Ofendurchmesser in der Formebene sein. Bei den meisten Oefen findet man das Verhältniss des Ofendurchmessers in der Formebene zu dem Kohlensackdurchmesser wie 1 : 1,7 bis 1 : 2,5; engere Durchmesser als in dem Verhältnisse 1 : 2,5 würden eine Beeinträchtigung der Leistung des Ofens herbeiführen. Selten geht auch bei den grossen Oefen der Durchmesser über 3 m hinaus.

Dass ein eigentliches Gestell nicht erforderlich ist, sofern man mit ausreichend heissem Gebläsewinde arbeitet, wurde schon oben erläutert. Bei der Mehrzahl der jetzigen Hochöfen beginnt demnach die Rast unmittelbar über der Formebene (wie in Fig. 69 auf Seite 354); nur bei Graueisendarstellung mit Holzkohlen hält man noch vielfach ein Gestell für nothwendig. Keinesfalls aber sollte dessen Höhe, vom Boden an gemessen, mehr als $1/6$ der gesammten Ofenhöhe betragen.

Anordnung der Formöffnungen. Von der Höhe der Formöffnungen über dem Boden ist die Menge des Roheisens abhängig, welche angesammelt werden kann, ehe zum Abstiche geschritten wird; aber für die Vorgänge im Hochofen selbst, Reduction und Schmelzung,

geht offenbar diese Höhe verloren, und je höher die Formöffnungen liegen, desto schwieriger ist es, den Boden des Herds genügend warm zu erhalten, damit nicht das angesammelte Roheisen theilweise erstarre. Je grösser die Erzeugung des Hochofens ist, desto höher können die Formen liegen; bei Weisseisendarstellung deshalb im Allgemeinen höher als beim Betriebe auf Graueisen oder Eisenmangan; bei Oefen mit geschlossener Brust höher als bei solchen mit offener Brust. Bei den meisten grösseren Hochöfen findet man diese Abmessung zwischen 1,3 bis 2,0 m, bei kleinen Oefen für Holzkohlenbetrieb und mit offener Brust oft nicht über 0,5 m.

In alter Zeit, ja noch in der Mitte dieses Jahrhunderts, waren Holzkohlenöfen mit einer einzigen Windform nicht selten. Mit dem Ofendurchmesser aber muss die Zahl der Windformen zunehmen. Man befördert durch Vertheilung des Winds auf mehrere Formen die Gleichmässigkeit der Verbrennung innerhalb des Ofenquerschnitts, und man beschleunigt die Verbrennung, indem man die Oberfläche des eintretenden Winds vergrössert, also die Berührung mit dem Brennstoffe erleichtert. Der Raum, wo noch freier Sauerstoff oder Kohlensäure, die im ersten Augenblicke gebildet sein könnte, sich finden, wird durch Anwendung von mehreren Formen auf engere Grenzen beschränkt. In diesem raschen Verschwinden allen freien Sauerstoffs wie der Kohlensäure liegt eine wesentliche Förderung des Hochofenschmelzens.

Aus diesem Grunde wendet man in der Jetztzeit auch bei den kleinsten Hochöfen mindestens zwei, häufiger drei Windformen an; bei grösseren Oefen findet man fünf bis acht, bei einzelnen Hochöfen sogar zwölf Formen. Eine Grenze für die Vermehrung der Formen ist immerhin durch den Umstand gegeben, dass die Durchbrechung des Gestellmauerwerks durch die Formöffnung eine Schwächung seiner Standfestigkeit zur Folge hat; mit anderen Worten, dass zwischen den einzelnen Formen ein ausreichend breiter Steinkörper zum Tragen der darüber befindlichen Theile bleiben muss. Man wird in den meisten Fällen eine gut passende Zahl bekommen, ohne das Mauerwerk zu sehr zu schwächen, wenn man den Oefen so viel Oeffnungen giebt, als der Umfang des Ofeninnern innerhalb der Formenebene in Metern beträgt (also z. B. bei einem Durchmesser von 2,5 m oder $2{,}5 \times 3{,}14 = 7{,}7$ m Umfang 7 bis 8 Oeffnungen, eine dieser Oeffnungen aber nicht für die Einlegung einer Windform, sondern für die Anbringung des Schlackenabflusses oder für die Einrichtung der offenen Brust bestimmt.

Nicht ganz ohne Belang ist auch die Anordnung der Formöffnungen gegen einander. Die einfachste und für die Gleichmässigkeit der Windvertheilung vortheilhafteste Anordnung würde sich zwar ergeben, wenn sie alle in gleichem Abstande von einander sich befänden; die Rücksicht auf die äusseren Theile des Hochofens, sowie auf die Lage des Herds und Wallsteins bei offener Brust gestattet jedoch nicht immer, genau in dieser Weise zu verfahren. Viele Hochofenleute sehen es auch nicht gern, wenn die eine Form genau in der verlängerten Richtung der gegenüberliegenden sich befindet, damit nicht die von entgegengesetzter Richtung gegen einander treffenden Windströme sich gegenseitig stauen. Der Fall würde eintreten, wenn man eine gerade Anzahl Oeffnungen gleichmässig in dem Umfange vertheilen und die

Formen genau radial einlegen wollte. Er wird vermieden, wenn man eine ungerade Zahl Oeffnungen (drei, fünf, sieben) gleichmässig oder eine gerade Zahl ungleichmässig vertheilt. Die Abbildung Fig. 77, einen wagerechten Schnitt in der Formenebene eines Hochofens darstellend, kann die erstere Anordnung veranschaulichen. Hier sind sechs Oeffnungen *hh* für ebenso viele Windformen angebracht; *i* ist eine siebente Oeffnung, welche durch den Tümpel abgedeckt und vorn durch den Wallstein geschlossen wird (offene Brust).

Fig. 77.

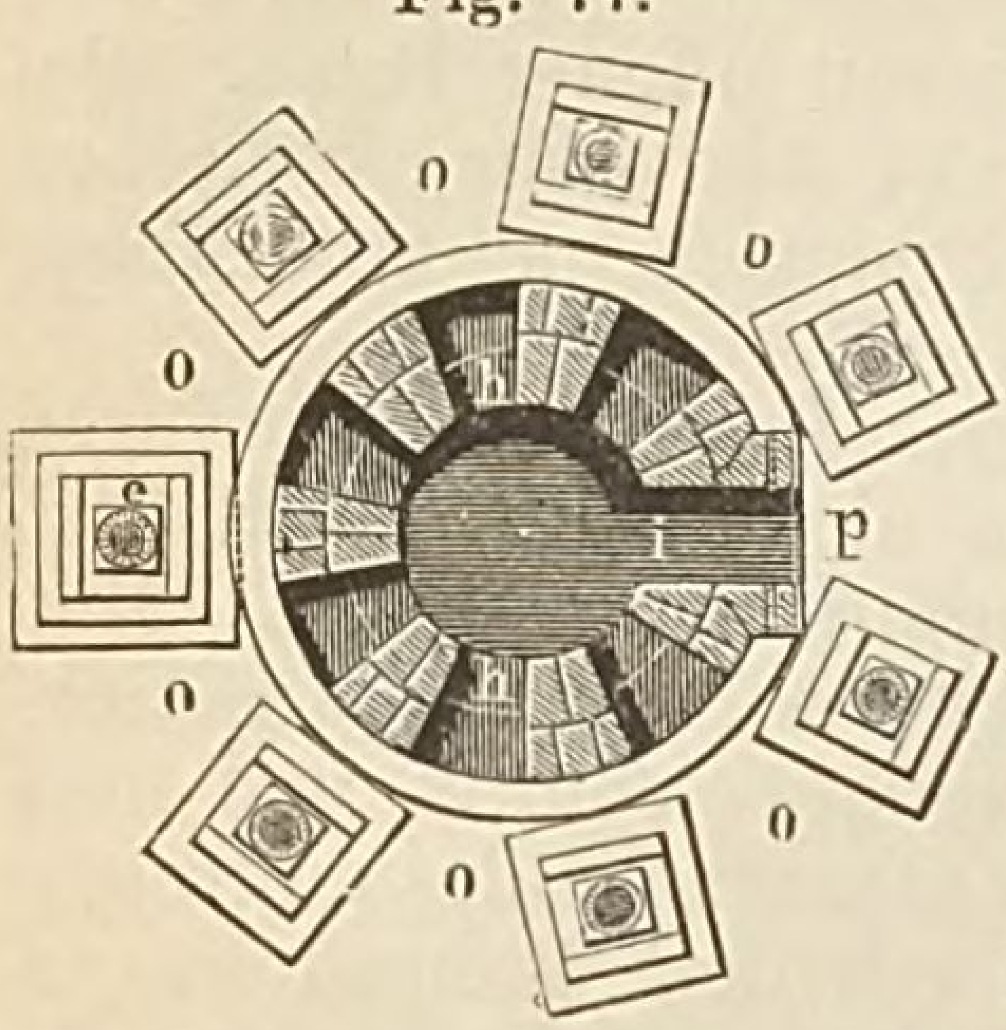
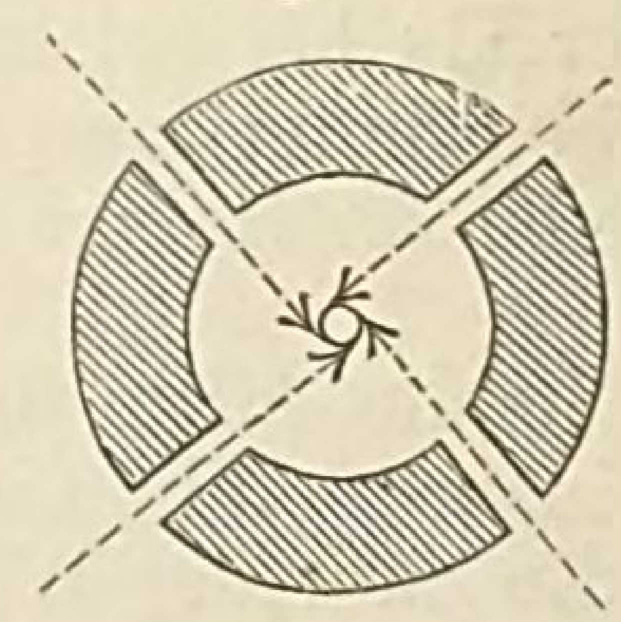


Fig. 78.



Im Uebrigen lässt sich, auch wenn die Formöffnungen diametral einander gegenüberstehen, doch jene Gefahr einer Stauung der Windströme verhüten, wenn man die Formen selbst und die Düsen (die Ausströmungsenden der Windleitung) nicht radial, sondern derartig einlegt, dass ihre verlängerte Richtung nicht genau das Ofenmittel trifft. Fig. 78 lässt diese Anordnung erkennen.

Von der Einrichtung der Formen selbst, d. h. der metallenen Hülsen, welche in die Formöffnungen eingesetzt werden, wird später die Rede sein.

3. Der Bau der Hochöfen.

Hochöfen mit Rauhgemäuer.

Auf der Ueberzeugung fussend, dass ein Ofen, in welchem eine so beträchtliche Wärmemenge entwickelt wird und eine so hohe Temperatur erzeugt werden muss, wie in dem Eisenhochofen, nur dann seinen Zweck erfüllen könne, wenn er vor Wärmeverlusten an die umgebende Luft thunlichst geschützt sei, umgaben unsere Vorfahren den Hochofen mit einer möglichst dicken Hülle von Mauerwerk, in welcher nur die eben erforderlichen Oeffnungen für die Zuleitung des Windes und die Wartung der Formen, sowie für das Ablassen des Roheisens und der Schlacke ausgespart waren. Die Abbildungen Fig. 79 und 80 zeigen einen solchen Eisenhochofen aus dem Jahre 1716 [1]; ganz ähnlich wird die Bauart auch bereits Jahrhunderte früher gewesen sein. Auf dem kräftigen, zum grössten Theile seiner Höhe im Erdboden steckenden Unterbau *a* ist das mehrere Meter starke Rauhgemäuer *b* aufgeführt, äusserlich vierseitig und den eigentlichen Ofen umschliessend. Es hat zwei Durchbrechungen, die eine, in Fig. 79 sichtbar, für die Anbringung der Windleitung, die andere (Fig. 80) für die Herrichtung

1) Nach de Réaumurs hinterlassenen Schriften durch Courtisson et Bouchu in dem Werke: Art des forges et fourneaux à fer, section III, Paris 1762, veröffentlicht.

Hochofenanlage im Anfange des 18. Jahrhunderts.

Fig. 79.

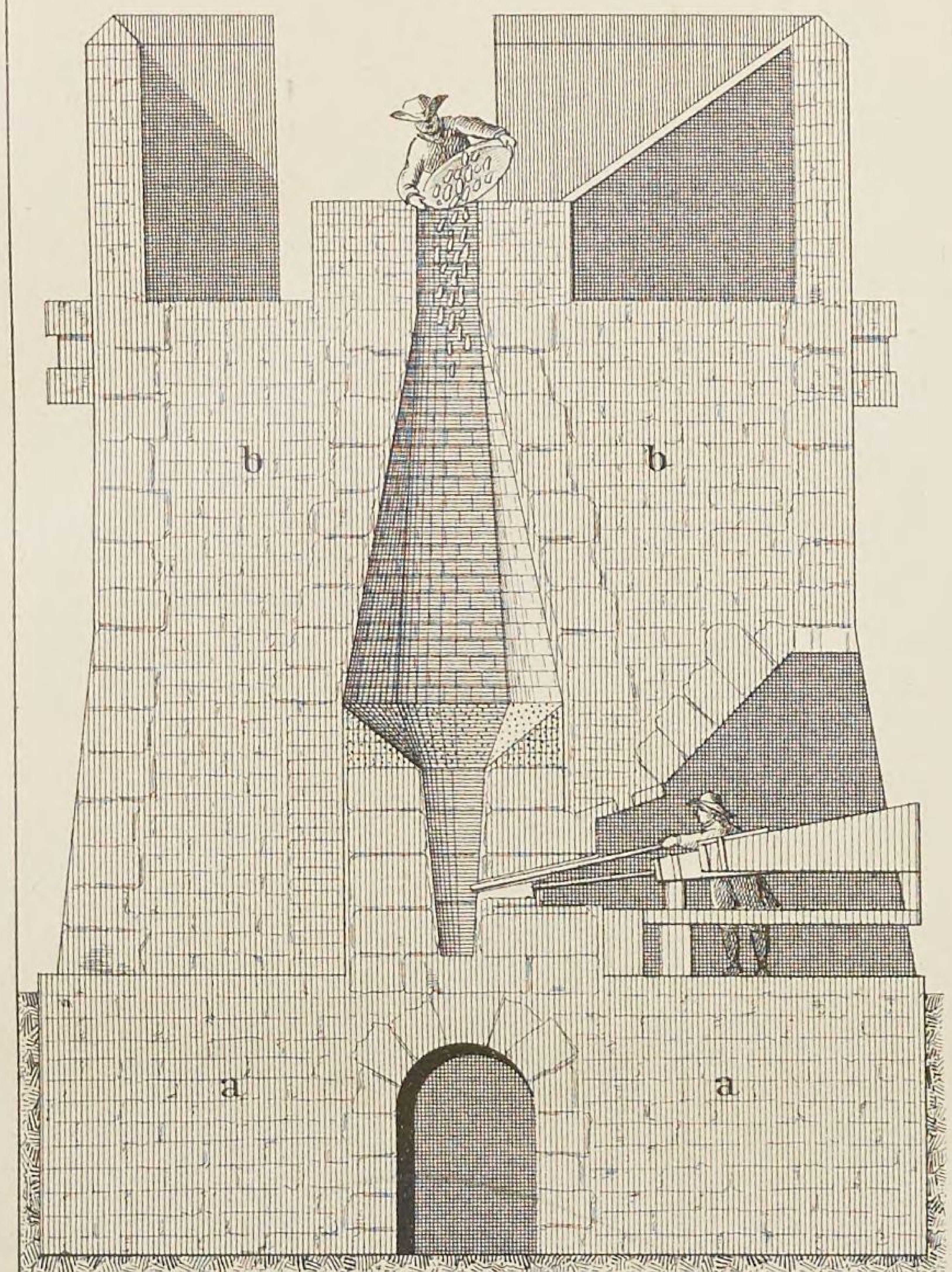


Fig. 80.

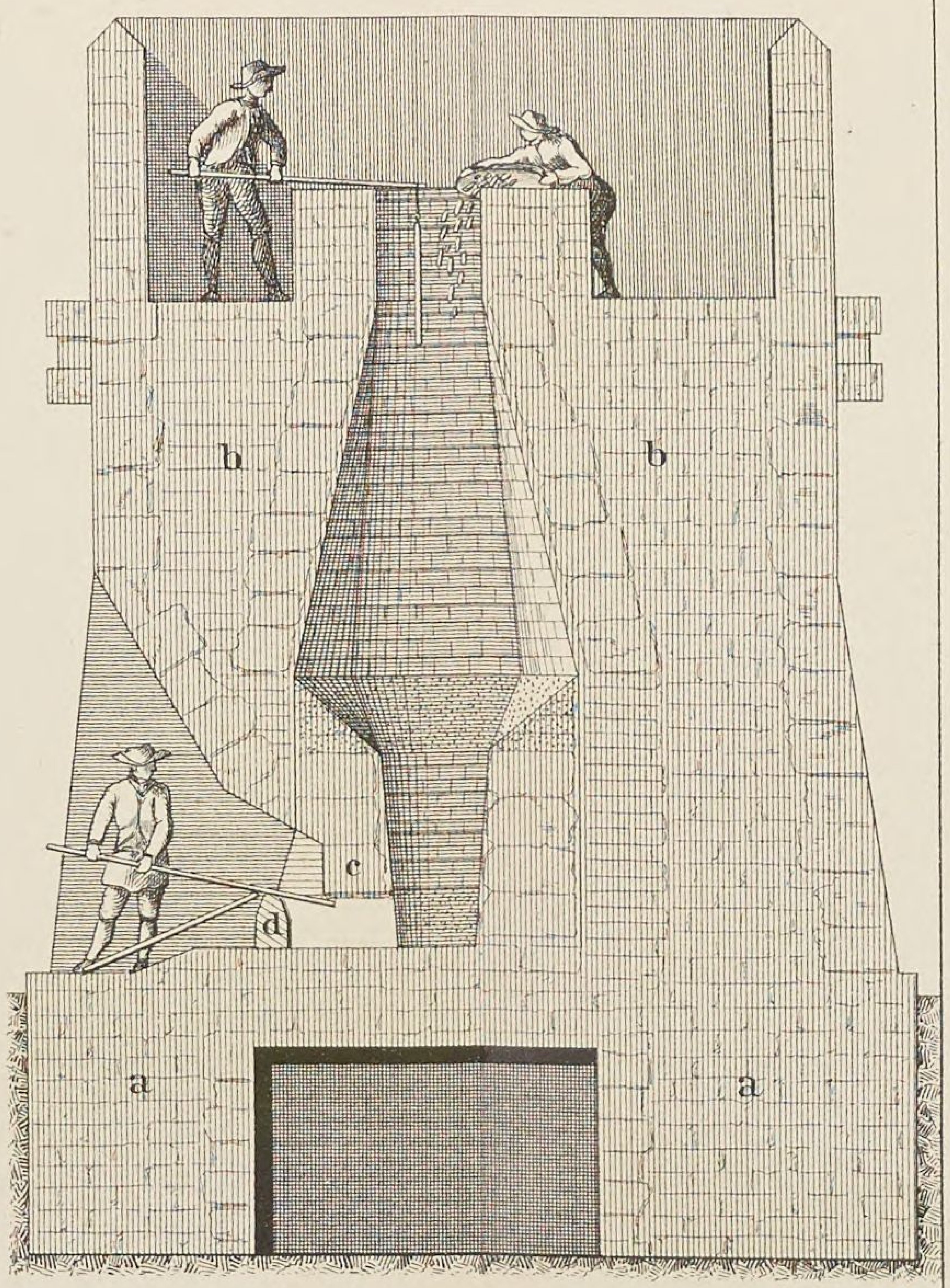
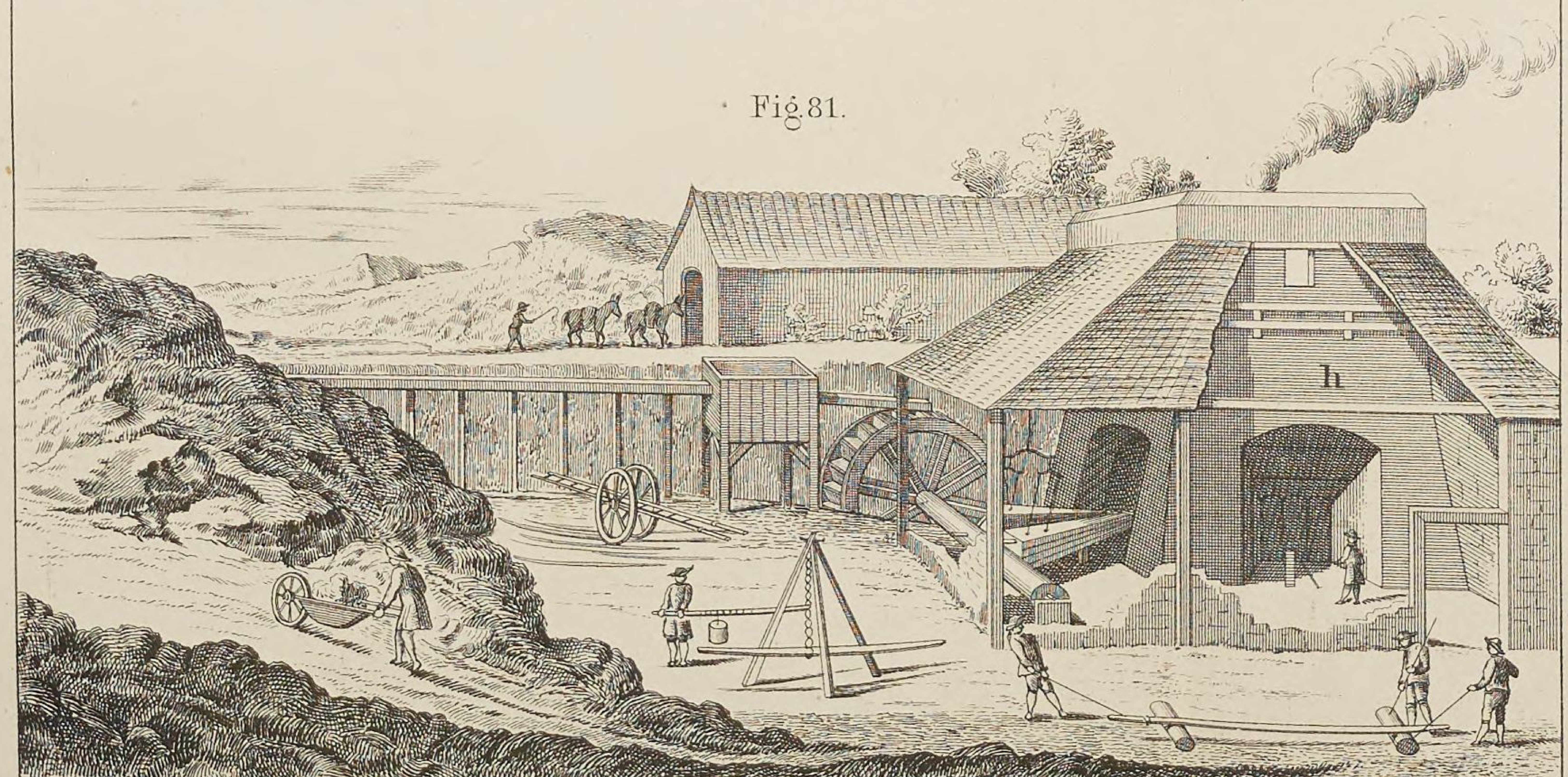


Fig. 81.



Verlag von Arthur Felix, Leipzig.
Techn. art. Anst. v. Alfr. Müller, Leipzig-R.

der offenen Brust. *c* ist der Tümpelstein, *d* der Wallstein. In dieses Rauhgemäuer wurde nun das den Ofen unmittelbar einschliessende Mauerwerk, die Steine des Schachts, der Rast und des Gestells eingesetzt. Die Abbildungen lassen erkennen, dass auch damals schon der Ofenschacht, ohne die Rast und das Gestell zu belasten, vom Rauhgemäuer und Unterbau getragen wurde. Das Einsetzen der Gestell- und Raststeine erfolgte erst, wenn der Schacht ganz fertig war, wie es heute noch üblich ist. Man nennt diese Arbeit, durch welche der Ofenbau vollendet wird, das Zustellen des Hochofens, den Inbegriff der Gestell- und Raststeine eines Hochofens seine Zustellung.

Zur Herstellung des Schachts und der Zustellung pflegte man feste Quadersandsteine zu benutzen; dem Querschnitte des Ofeninnern aber gab man vierseitige, häufig rechteckige Form (bei dem abgebildeten Ofen rechteckig mit gebrochenen Ecken). Man erleichterte durch die Wahl des Rechtecks, indem man die einzige Windform an die eine lange Seite verlegte, das Vordringen des nur schwach gepressten Winds bis zur gegenüberliegenden Wand, was bei der geringen Leistung der damaligen Gebläse nicht ohne Wichtigkeit war.

Die Höhe des abgebildeten Ofens vom Boden bis zur Gichtöffnung beträgt etwa 7 m, die Gicht ist 0,48 und 0,81 m weit, der Kohlensack 2,0 und 2,3 m.

In Fig. 81 ist die Anordnung der ganzen Hochofenanlage erkennbar. *h* ist der Hochofen, dessen Arbeitsseite (Wallstein mit dem Roheisenstich) dem Beschauer zugewendet ist. An seiner linken Seite sieht man das durch ein Wasserrad getriebene einfache Gebläse; auf der Anhöhe im Hintergrunde werden durch Maulthiere Holzkohlen in Säcken in den Schuppen gebracht, aus welchem sie nach der Gicht des Hochofens befördert werden sollen. Ganz links gewahrt man eine ziemlich ansehnliche Schlackenhalde.

Nach denselben allgemeinen Grundsätzen, d. h. unter Anwendung eines starken Rauhgemäuers, in welches Schacht, Rast und Gestell eingesetzt wurden[1]), baute man die Hochöfen bis gegen die fünfziger Jahre des neunzehnten Jahrhunderts. In den Einzelheiten aber machten sich allmählich verschiedene Aenderungen bemerkbar. In Fig. 82 und 83 ist ein solcher in der ersten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts erbauter Hochofen mit Rauhgemäuer abgebildet.[2]) Er ist mit drei Windformen und offener Brust versehen. Auf dem kräftigen, von Kanälen *G* und *H* durchzogenen Unterbau wurden mächtige Eckpfeiler errichtet, zwischen denen, wie der Grundriss Fig. 83 erkennen lässt, die drei Oeffnungen für die Formen und die Brust ausgespart blieben. Bei Oefen mit nur zwei Formen wurde die dritte Formöffnung an der Rückseite des Ofens vermauert; beabsichtigte man mit mehr als drei Formen zu blasen, so legte man je zwei in eine gemeinschaftliche Oeffnung nebeneinander. Ein ringförmiger, innerhalb der Eckpfeiler gelassener Gang *R*, welcher von Oeffnung zu Oeffnung führte, erleichterte, ohne jedoch gerade unbedingt erforderlich zu sein,

1) Letztere Theile, insbesondere die Rast und die Gestellsteine, mussten nach jedem Ausblasen des Hochofens erneuert werden, das Rauhgemäuer dagegen pflegte für viele Jahrzehnte benutzbar zu bleiben.

2) Aus B. Kerl, Grundriss der Eisenhüttenkunde, Leipzig 1875.

Fig. 82.

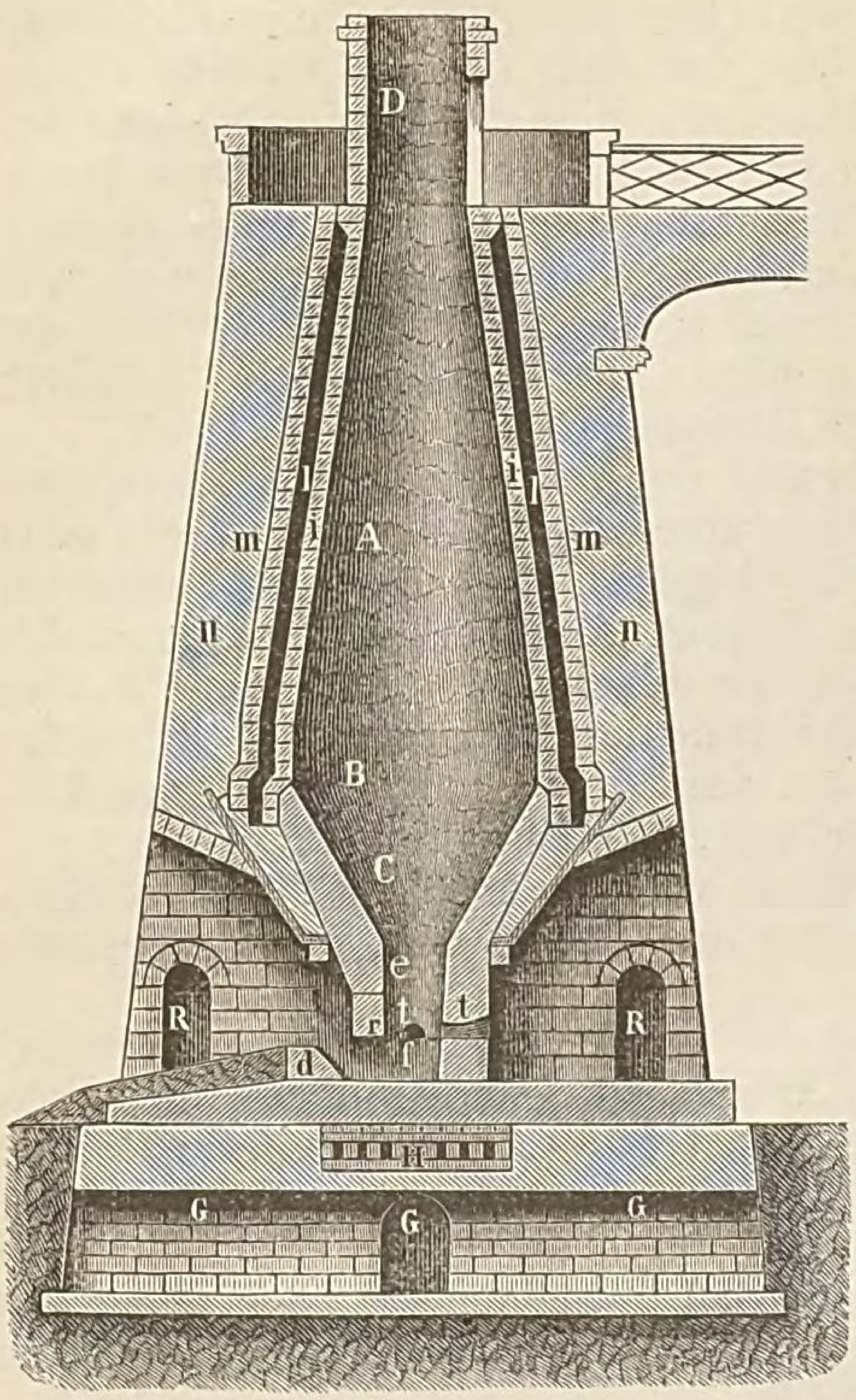
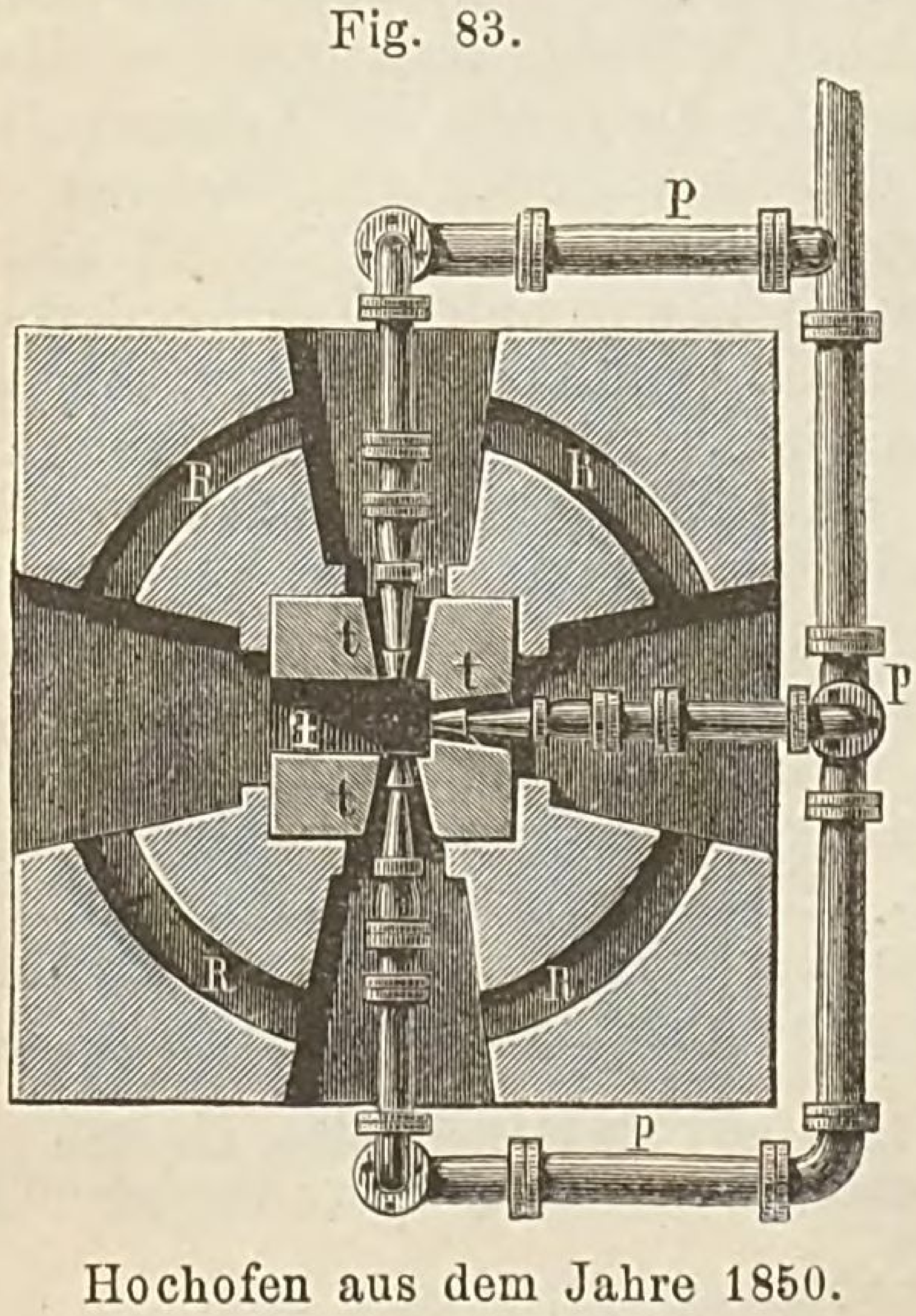


Fig. 83.



Hochofen aus dem Jahre 1850.

bei dem beträchtlichen Umfange des Ofens den Verkehr von Form zu Form. Die vier Eckpfeiler zusammen pflegte man **Vierpass** zu nennen.

Je zwei benachbarte Eckpfeiler wurden nun in entsprechender Höhe durch Gewölbe, welche nach aussen hin anstiegen, oder durch quer hinüber gelegte Gusseisenträger, welche ebenfalls treppenartig nach aussen hin anstiegen, mit einander verbunden, und auf diesen Gewölben oder Trägern ruhte nun der obere Theil des meistens aus Bruchsteinen aufgeführten Rauhgemäuers *n*. Da es, der Schachtform des Ofens folgend, sich nach oben zu verjüngen pflegte, erhielt dieser, wie schon früher, äusserlich die Form einer abgestumpften vierseitigen Pyramide.

Das Rauhgemäuer war zur Ableitung der Feuchtigkeit und zur Verminderung der Entstehung von Rissen bei der Ausdehnung von wagerechten und senkrechten, an der Aussenfläche mündenden Kanälen durchzogen [1]) und gut verankert. Die Erfahrung lehrte jedoch häufig, dass bei der Ausdehnung des Rauhgemäuers auch die stärksten Anker zerrissen, allerdings, ohne dass in den meisten Fällen die Haltbarkeit des Gemäuers dadurch erhebliche Einbusse erlitten hätte.

Statt des einen in Fig. 79 und 80 abgebildeten Schachts pflegte man später zwei einander umschliessende Schächte *m* und *i* in das Rauhgemäuer einzusetzen und zwischen ihnen den ringför-

1) Auch unter dem Boden des Gestells pflegte man solche Kanäle anzubringen, welche mit den in den Eckpfeilern aufsteigenden Kanälen in Verbindung standen. In Fig. 82 sind bei *H* solche Bodenkanäle angedeutet.

migen, nur mit losen Schlackenstückchen oder dergleichen ausgefüllten Raum *l*, die **Füllung**, frei zu lassen. Man bezweckte hierdurch, der verschiedenen Ausdehnung der inneren und äusseren Steinlagen Rechnung zu tragen, ohne die vermeintlichen Wärmeverluste durch Wärmeabgabe nach aussen zu vermehren. Auch zwischen dem äusseren Schachte *m* und dem Rauhgemäuer liess man häufig einen Zwischenraum, damit die Ausdehnung des Schachts bei der Erhitzung nicht durch das Rauhgemäuer behindert werde.

Dass auch bei dieser Einrichtung beide Schächte vom Rauhgemäuer getragen wurden und vollständig unabhängig von der Rast und dem Gestelle blieben, ist in Fig. 82 erkennbar.

Als Material für die Hochofenzustellung benutzte man, so lange man mit Holzkohlen arbeitete, zumal bei Graueisendarstellung, nach wie vor gern Quadersandsteine in möglichst grossen Stücken und gut zusammengefugt. Dem Gestelle gab man in Rücksicht auf die bequemere Herstellung häufig noch vierseitigen Querschnitt (wie in Fig. 83); für den Schacht dagegen war allmählich der kreisförmige Querschnitt üblicher geworden.

Wo man jedoch zu dem Betriebe mit Koks überging, ersetzte man die Sandsteine, welche durch die basischeren Schlacken dieser Oefen gewöhnlich rasch weggeschmolzen wurden, bald durch Schamotteziegeln.

Bei den Hochöfen der soeben beschriebenen Einrichtung, welche noch in den siebziger Jahren dieses Jahrhunderts für Holzkohlenbetrieb nicht selten in Benutzung waren und vereinzelt auch jetzt noch hier und da gefunden werden, ist auch der untere Theil, das Gestell, zum grossen Theil von dem Rauhgemäuer eingeschlossen und nur an den Formöffnungen und vor dem Tümpelsteine freigelegt. Dadurch wird allerdings die Abkühlung des Gestells von aussen her nach Möglichkeit vermieden; aber eben deshalb sind die Gestellsteine dem Wegschmelzen leichter unterworfen, und Auswechselungen sind während des Betriebs, da das Gestell von aussen nicht zugänglich ist, unmöglich. Dieser Nachtheil trat empfindlicher als früher zu Tage, nachdem durch Einführung der Winderhitzung die Temperatur im Verbrennungsraume der Hochöfen gesteigert worden war. Man ging deshalb auch bei vielen Oefen mit Rauhgemäuer später dazu über, das Gestell ringsherum frei zu legen, um es der Einwirkung der äusseren Luft zugänglich zu machen und Ausbesserungen auch während des Betriebs zu ermöglichen. Zugleich erlangte man hierdurch bei grösseren Oefen den Vortheil, in bequemerer Weise als bisher die Formen vertheilen zu können. Der Zweck wird erreicht, indem man die vier Eckpfeiler nicht bis ganz an das Gestell hinantreten lässt; der Schacht ruht entweder, wie bei den vorher beschriebenen Oefen mit eingebautem Gestell, im Rauhgemäuer, oder er wird, wie bei dem in Fig. 84 und 85 abgebildeten Hochofen [1]), von einem starken Gusseisenringe getragen, welcher auf Säulen ruht. *aa* (Fig. 84) sind die Säulen, *bb* (Fig. 83)

1) Ofen zu Rothehütte am Harz im Jahre 1867. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- und Salinenwesen in Preussen, Band XIX, Taf. 5.

Fig. 84.

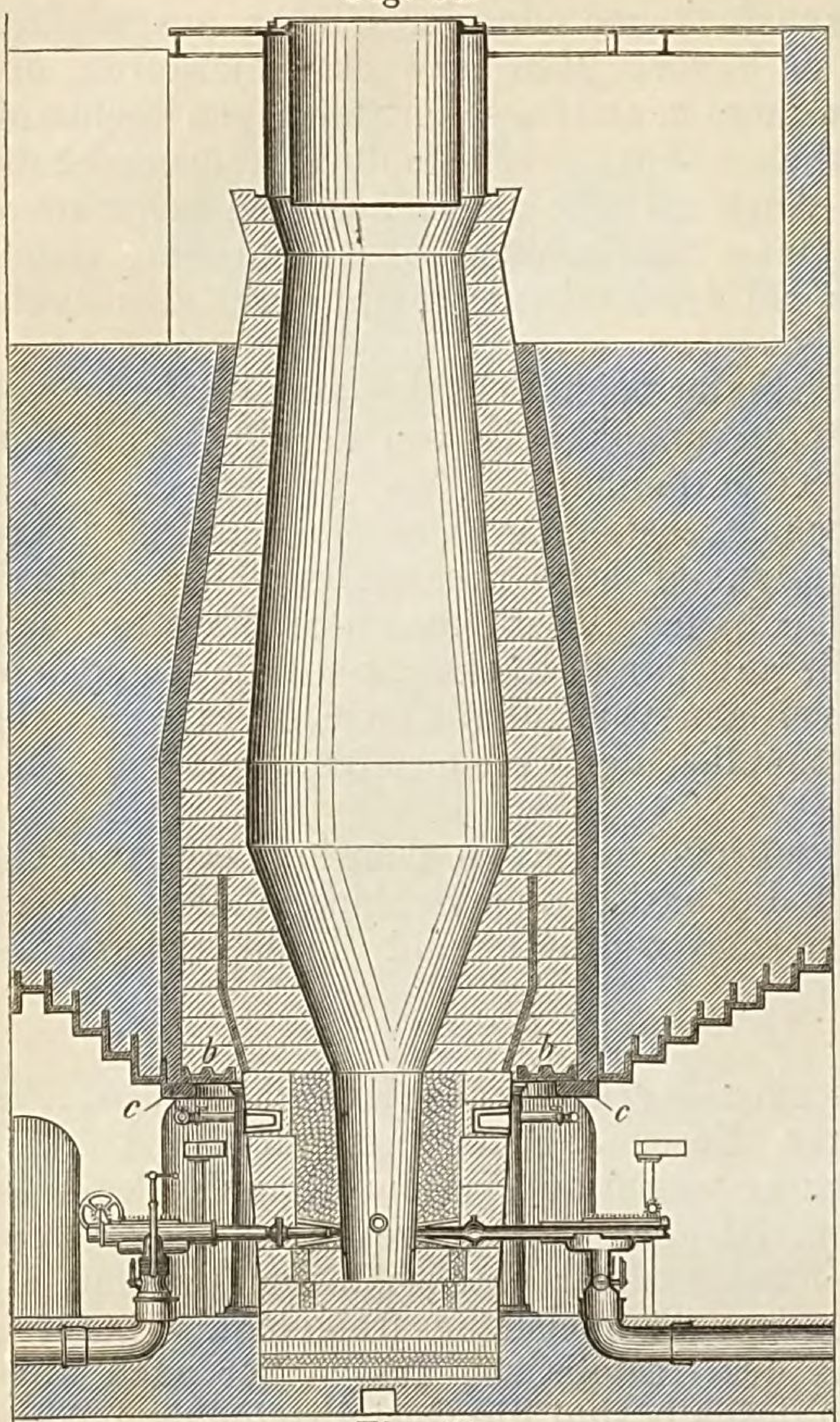
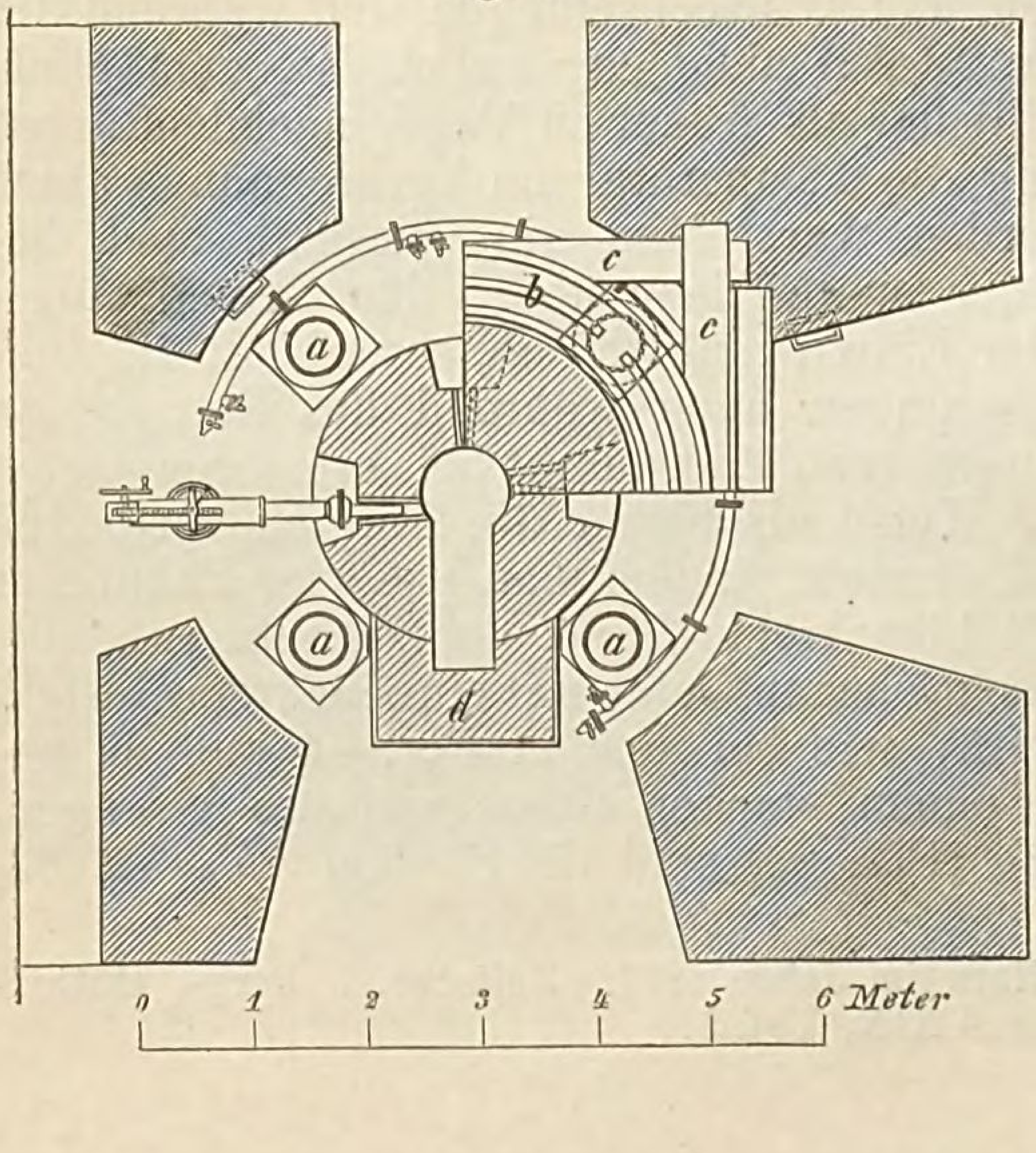


Fig. 85.



der mit drei aufrecht stehenden Rippen versehene Kranz. Letzterer wird ausserdem noch durch die vier starken, von Pfeiler zu Pfeiler hinübergehenden Trageisen *c c* gestützt. Das obere Rauhgemäuer ruht auf den U-förmigen Gusseisenträgern, welche in Fig. 84 erkennbar sind. Zwischen Rauhgemäuer und Schacht befindet sich wiederum eine breite Füllung. Dass auch bei diesem Ofen die Rast und das Gestell sich auswechseln lassen, während der Schacht unverändert an seiner Stelle bleiben kann, ist aus Fig. 84 zu ersehen.

d in Fig. 85 ist der Wallstein.

Hochöfen ohne Rauhgemäuer.

Die beschriebene Einrichtung der Hochöfen mit Rauhgemäuer ist, selbst wenn man das Gestell freilegt, schwerfällig und kostspielig; diese Nachtheile wachsen mit der Grösse des Ofens. Als man daher, wie früher geschildert wurde, im Anfange der vierziger Jahre, gedrängt durch die mächtigen Steigerungen des Roheisenbedarfs, anfing, die bis dahin gebräuchlichen Grenzen für den Rauminhalt der Hochöfen beträchtlich zu überschreiten, stellte sich die Nothwendigkeit heraus, auch dem Aufbau der Hochöfen eine andere Einrichtung zu geben.

In Schottland war es, wo man in jener Zeit zuerst mit den von Alters her überlieferten Regeln brach, das Rauhgemäuer der Hochöfen

Fig. 86.

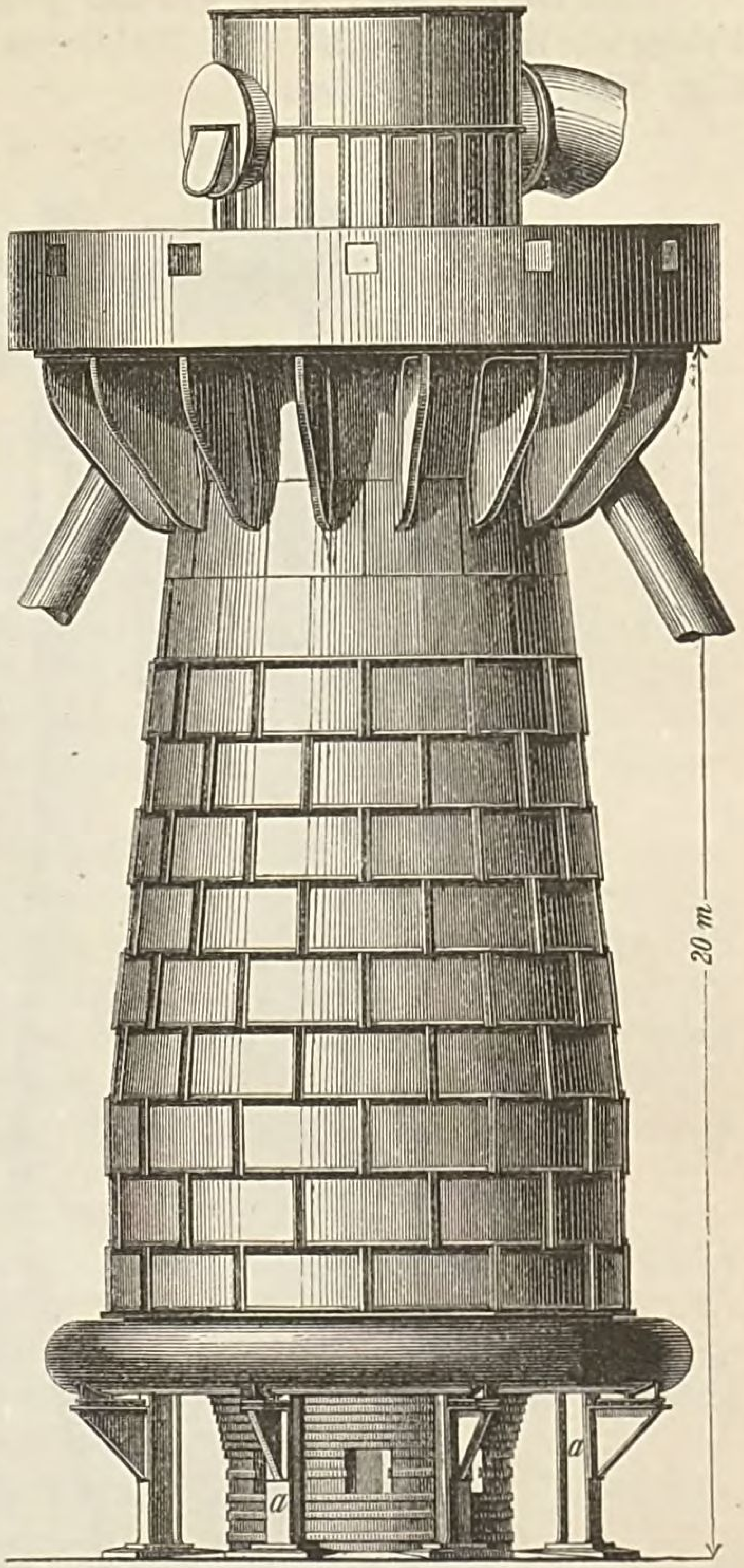
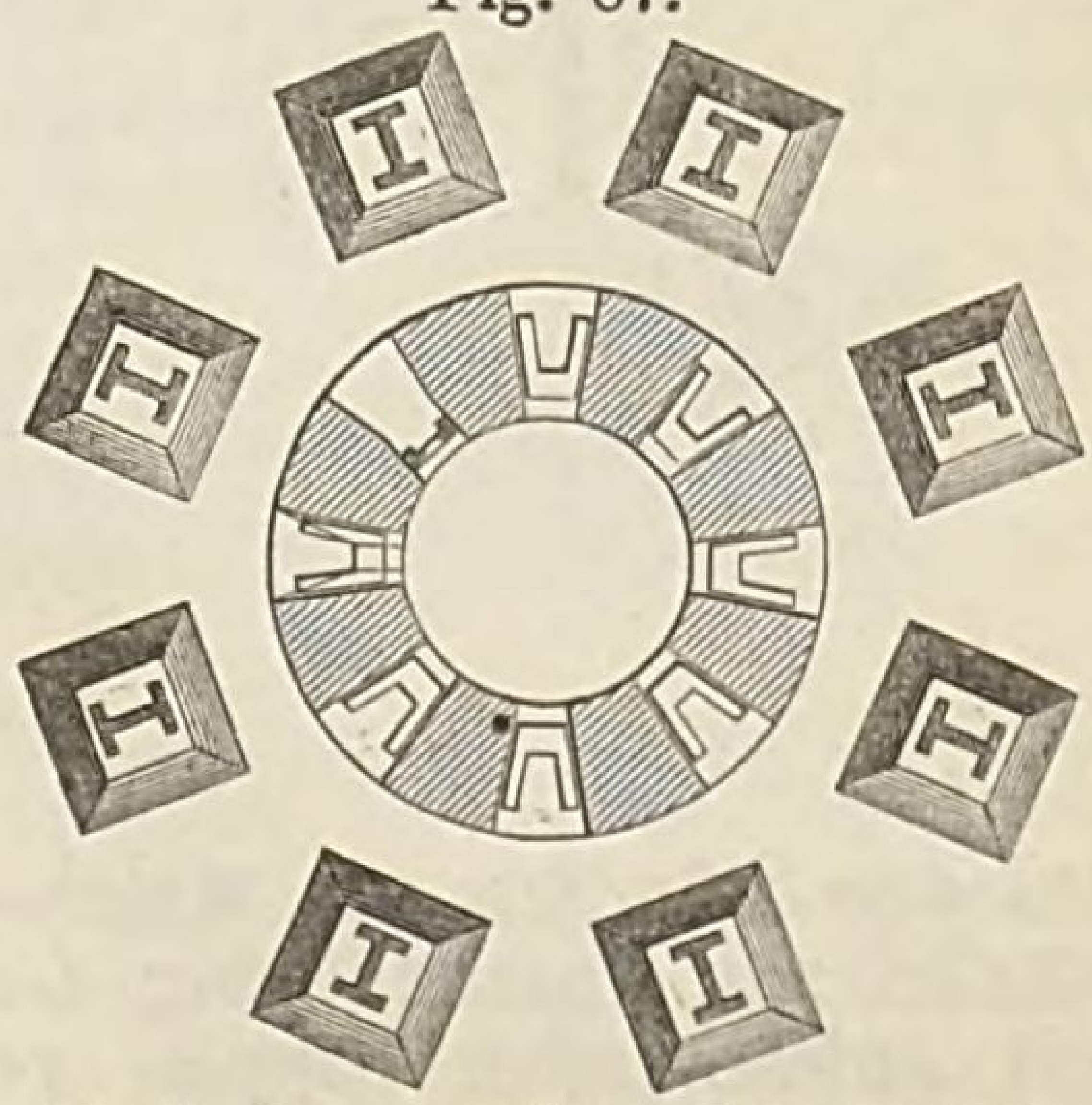


Fig. 87.



Hochofen aus dem Jahre 1874.

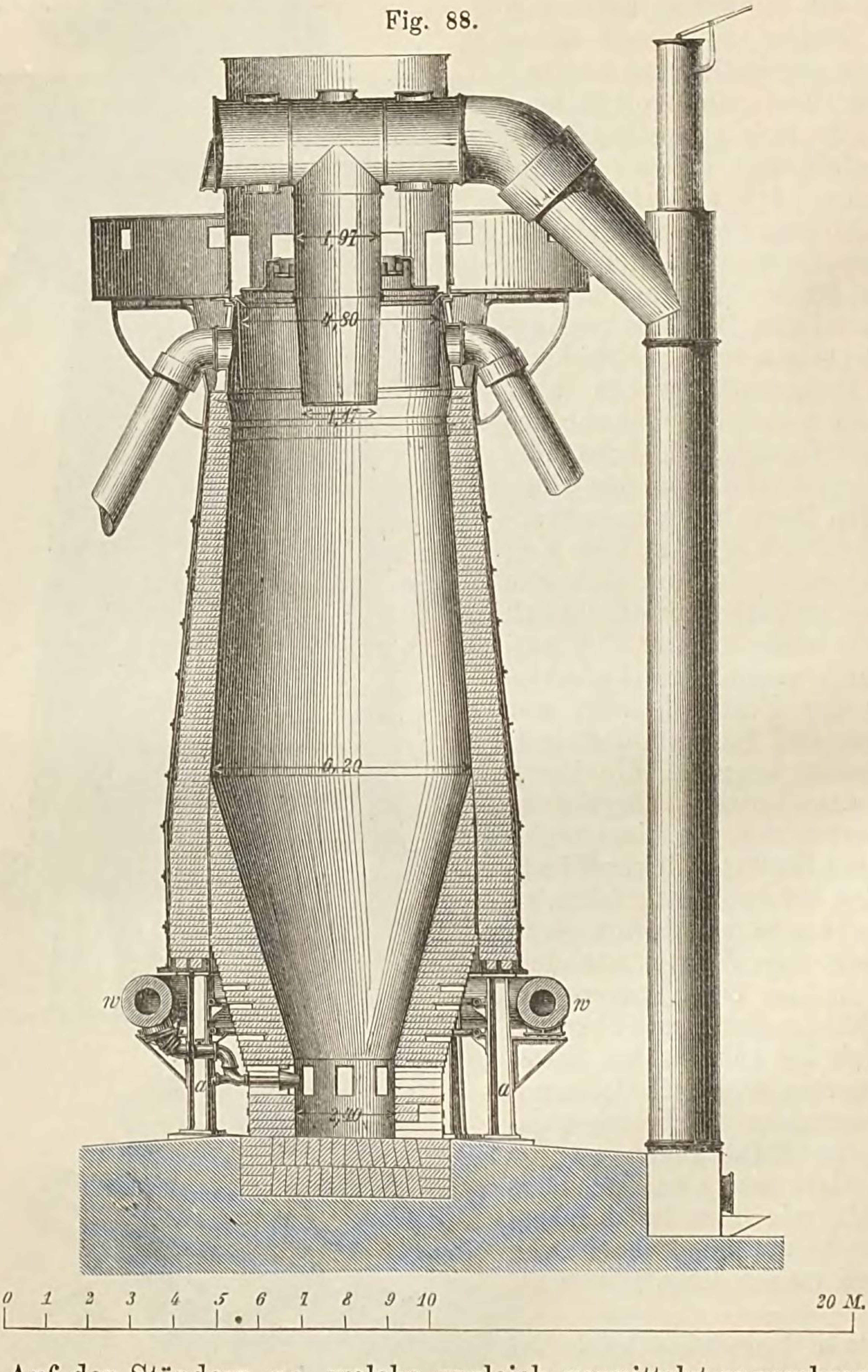
zunächst auf erheblich kleinere Abmessungen beschränkte, dann ganz beseitigte, den Schacht (oder die Schächte) auf einen von Säulen getragenen Gusseisenkranz stellte und nur mit einem Blechmantel einhüllte.

Der Erfolg bestätigte die Berechtigung dieser Maassnahmen. Die schottischen Hochöfen, wie man sie benannte, waren billiger, haltbarer, für Ausbesserungen auch während des Betriebs zugänglicher; eine merkbare Erhöhung des Brennstoffaufwands aber oder eine Verschlechterung des Hochofengangs, Uebelstände, welche jedenfalls von den allermeisten Hochofenleuten erwartet worden waren, stellten sich nicht ein. So breitete sich jene Hochofeneinrichtung allmählich auch in anderen Gegenden aus, obgleich vorsichtige Hochofenleute des Festlands sich nur schwer und langsam dazu entschliessen konnten, die ihnen seit der Vorzeit überlieferte Ueberzeugung von dem wohlthätigen Einflusse dicker Wände auf den Hochofengang fallen zu lassen; baute man doch noch in den sechziger Jahren, nachdem also bereits eine längere als zehnjährige Erfahrung über den Betrieb der schottischen Hochöfen vorlag, mehrfach Oefen mit Rauhgemäuer und benutzte dabei jene Erfahrungen nur so weit, dass man wenigstens das Gestell, wie oben beschrieben, frei legte und den Schacht von Säulen tragen liess.[1])

1) In Deutschland wurde der erste Hochofen ohne Rauhgemäuer nach schottischem Vorbilde in Hasslinghausen (Westfalen) im Jahre 1855 gebaut (Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1874, Seite 615).

Ein Ofen dieser Art, welcher gegen Mitte der siebziger Jahre zu Friedrich-Wilhelmshütte bei Mühlheim a. d. Ruhr erbaut wurde, ist in Fig. 86—88 abgebildet.

Fig. 88.



Auf den Ständern *a a*, welche zugleich vermittelst angeschraubter Kragstücke zur Unterstützung des Windleitungsrohrs *w* dienen, ruht der mit aufstehenden Rippen versehene, kräftig gegossene Kranz, welcher zum Tragen des Schachts bestimmt ist. Den Kranz giesst

man in einzelnen Segmentstücken, welche auf den Säulen zusammenstossen und in einfacher Weise, z. B. mit Hülfe angegossener Zapfen an den Enden und warm umgelegter Schmiedeeisenringe, unter einander wie mit den Säulen verbunden werden.

Bevor der Schacht aufgemauert werden kann, wird der Blechmantel, welcher zu dessen Umhüllung bestimmt ist, an Ort und Stelle gebracht. Der Mantel stützt sich ebenfalls auf den Tragkranz für den Schacht und besteht aus einzelnen Eisenblechtafeln von 10 bis 20 mm Stärke, welche gewöhnlich vernietet, bei dem abgebildeten Ofen dagegen, wie Fig. 86 erkennen lässt, in den unteren neun Lagen verschraubt sind, damit man im Stande sei, während des Betriebs sie einzeln herauszunehmen und etwa erforderliche Ausbesserungen am Mauerwerk vorzunehmen. Jede einzelne Tafel ist zu diesem Ende mit einem aufgenieteten Kranze aus Winkeleisen eingefasst, so dass nach aussen vorstehende Ränder gebildet werden, durch welche die Verbindungsschrauben hindurchgehen. Der obere Theil des Blechmantels dient bei allen Oefen dieser Art zur Befestigung weit ausladender, aus Blech gefertigter Kragstücke, welche die Gichtbühne zu tragen bestimmt sind (Fig. 86).

Zwischen Blechmantel und Schacht muss wiederum in Rücksicht auf die stärkere Ausdehnung des letzteren ein ausreichend (10—20 cm) breiter Zwischenraum bleiben, der entweder ganz leer bleibt oder mit lockeren Körpern ausgefüllt wird. Lässt man den Zwischenraum zu schmal, oder liegt die Ausfüllung zu dicht, so ist ein Zerplatzen auch des stärksten Blechmantels die Folge davon.

Endlich werden, nachdem der Schacht fertig aufgeführt ist, Rast und Gestell eingesetzt.

Bei neueren Oefen dieser Art begnügt man sich mit einem einzigen, entsprechend starken Schachte; bei älteren Oefen waren nicht selten, wie bei den früheren Oefen mit Rauhmauerwerk (vergl. Fig. 82 auf S. 368) zwei Schächte hinter einander und dazwischen eine Füllung angeordnet. Beide Schächte ruhten in diesem Falle auf dem gemeinschaftlichen Tragkranze.

Die Säulen oder Ständer *a a* werden aus Gusseisen oder in neuerer Zeit häufiger aus Eisenblech gefertigt.

Der abgebildete Ofen hat 7 Windformen und geschlossene Brust. Die Stelle der achten Windform nimmt die Schlackenform (Schlackenabflussöffnung) ein. Fig. 88 zeigt zugleich im Durchschnitt die Stichöffnung für das Roheisen.

Wenn durch die vorstehend beschriebene Einrichtung der Hochöfen eine wesentliche Vereinfachung gegen früher erreicht worden war, so bildete immerhin der Blechmantel des Schachts, den man ursprünglich als Schutz gegen äussere Beschädigungen für nothwendig gehalten hatte, einen Bestandtheil der Anlage, welcher die Zugänglichkeit des Schachts während des Betriebs, die Ausführung von Arbeiten am Schachte, z. B. Auswechselung einzelner Steine, erschwerte. Selbst wenn man, wie bei dem beschriebenen Hochofen, die einzelnen Blechtafeln zum Herausnehmen einrichtete, blieb der Uebelstand bestehen, dass die Steinlagen der Beobachtung entzogen waren, so lange

der Blechmantel sie umschloss, und dass die Herstellung des Blechmantels ziemlich kostspielig war. Bei unbefangener Beurtheilung aber wird man sich sagen, dass der Schutz, welchen der Blechmantel den Schachtsteinen zu verleihen im Stande ist, ebenso gut durch umgelegte eiserne Anker erreicht werden kann.

Aus solcher Erwägung ging die Einrichtung der Hochöfen mit vollständig frei stehendem Schachte hervor, welcher nur durch umgelegte Anker eine Rüstung erhält.

Einer der ersten Oefen dieser Art wurde zu Ilsede bei Peine im Jahre 1864 gebaut[1]; allgemeiner bekannt wurde die Einrichtung erst, nachdem einige Zeit später auf dem kleinen Eisenwerke Heerdt bei Neuss ein Ofen mit freistehendem Schachte durch Büttgenbach gebaut worden war und man in verschiedenen Ländern Patente auf gewisse Eigenthümlichkeiten des letzteren Ofens ertheilt hatte.[2] Seit Mitte der siebenziger Jahre hat alsdann die Zahl der Hochöfen mit freistehendem Schacht ohne Blechmantel von Jahr zu Jahr zugenommen, und in der Jetztzeit ist diese Einrichtung für Neuanlagen fast allein üblich.

Die Abbildungen Fig. 89 und 90 zeigen zwei der neuesten Hochöfen dieser Art. Von den Oefen mit Blechmantel unterscheidet sich jeder solcher Hochofen schon von weitem durch die abweichende Unterstützung der Gichtbühne. Während bei den ersteren, wie oben erwähnt worden ist, der Blechmantel zugleich benutzt wird, die Gichtbühne mit Hülfe angeschraubter eiserner Kragstücke zu tragen, müssen bei den Hochöfen mit freistehendem Schachte eiserne, untereinander verstrebte Ständer, welche rings um den Ofen herum aufgestellt sind, diesem Zwecke dienen. Bei dem Ofen Fig. 89 sind vier solcher Säulen oder Ständer *a a*, aus starkem Eisenblech gefertigt, im Quadrate angeordnet und durch Anker und starke Querträger verbunden. Unabhängig davon wird der Schacht von acht im Kreise aufgestellten Ständern *b* getragen, auf welchen zunächst, wie bei den Oefen mit Blechmantel, ein starker eiserner Kranz ruht. Bei dem Ofen Fig. 90 dagegen dienen die zum Tragen des Schachts bestimmten acht Ständer zugleich als Unterbau für je einen der schlanken Ständer, welche oben die Gichtbühne tragen.

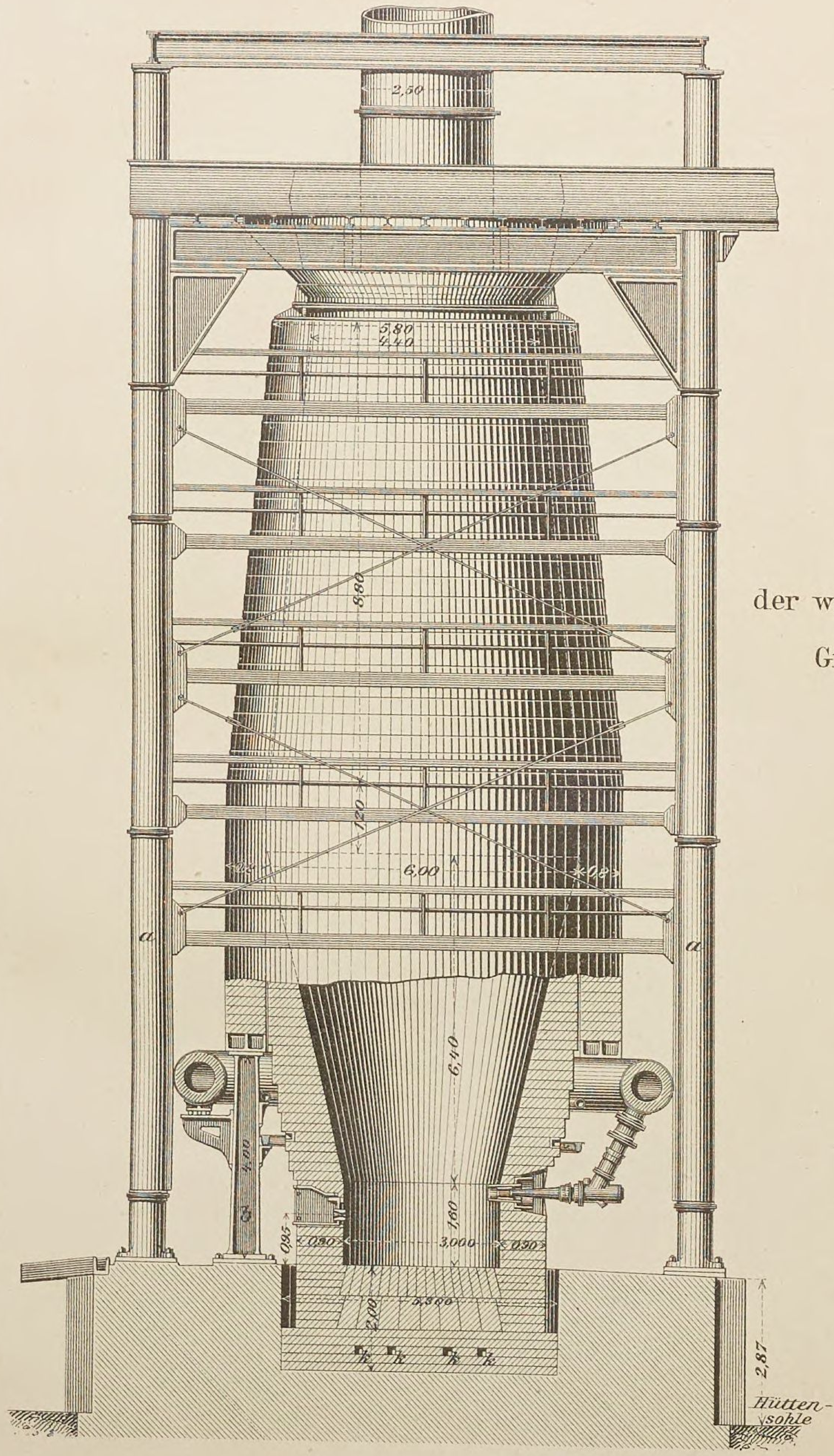
Den freistehenden Schacht dieser Oefen pflegt man, wie erwähnt, durch einzelne umgelegte Reifen zu schützen. In Rücksicht auf den besseren Anschluss dieser Reifen giebt man wohl den einzelnen Steinlagen senkrechte äussere Begrenzung, so dass der Schacht, wie bei dem Ofen Fig. 89, äusserlich eine treppenartige Form bekommt. Damit die Reifen bei der Ausdehnung des Ofens nicht springen, müssen sie anfänglich ganz locker umgelegt werden und mit einer Vorrichtung versehen sein, welche ein Lockern und Anziehen ermöglicht.

1) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1874, Seite 614. Die Einrichtung entwickelte sich ziemlich gleichzeitig auf verschiedenen Werken. Näheres hierüber ist in der hier genannten Abhandlung mitgetheilt.

2) Eigentliche Büttgenbach-Hochöfen, welche im Anfange der siebenziger Jahre auf verschiedenen Werken, besonders des Auslands, gebaut wurden, dürften jetzt kaum noch bestehen. Ihre Einrichtung ist beschrieben u. a. in der Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1874, Seite 614; Berg- und hüttenm. Ztg. 1874, Seite 281; Kerl, Grundriss der Eisenhüttenkunde, Seite 105.

Hochofen zu Friedenshütte 1890.

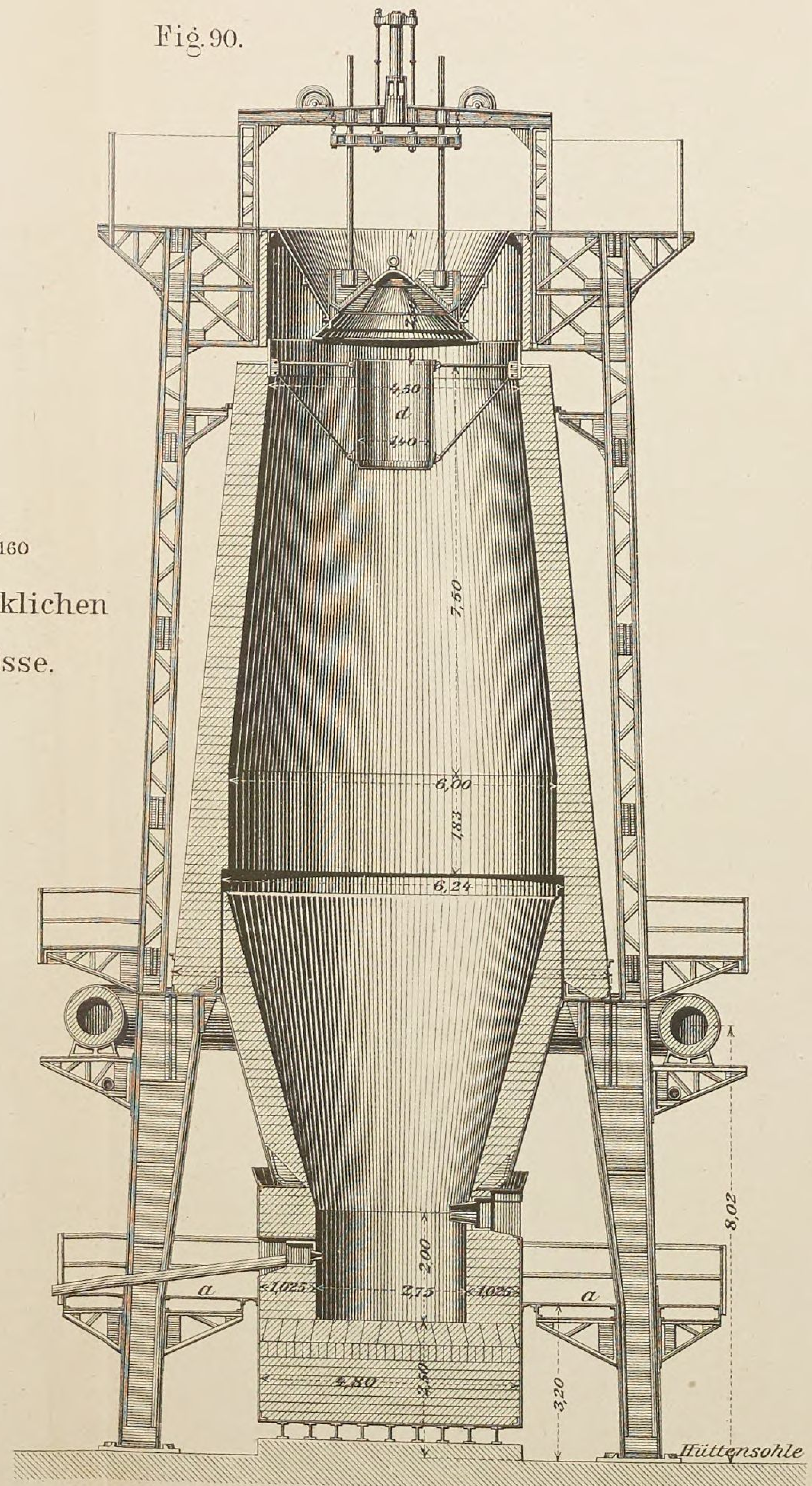
Fig. 89.



¹⁄₁₆₀ der wirklichen Grösse.

Hochofen zu Donawitz 1892.

Fig. 90.

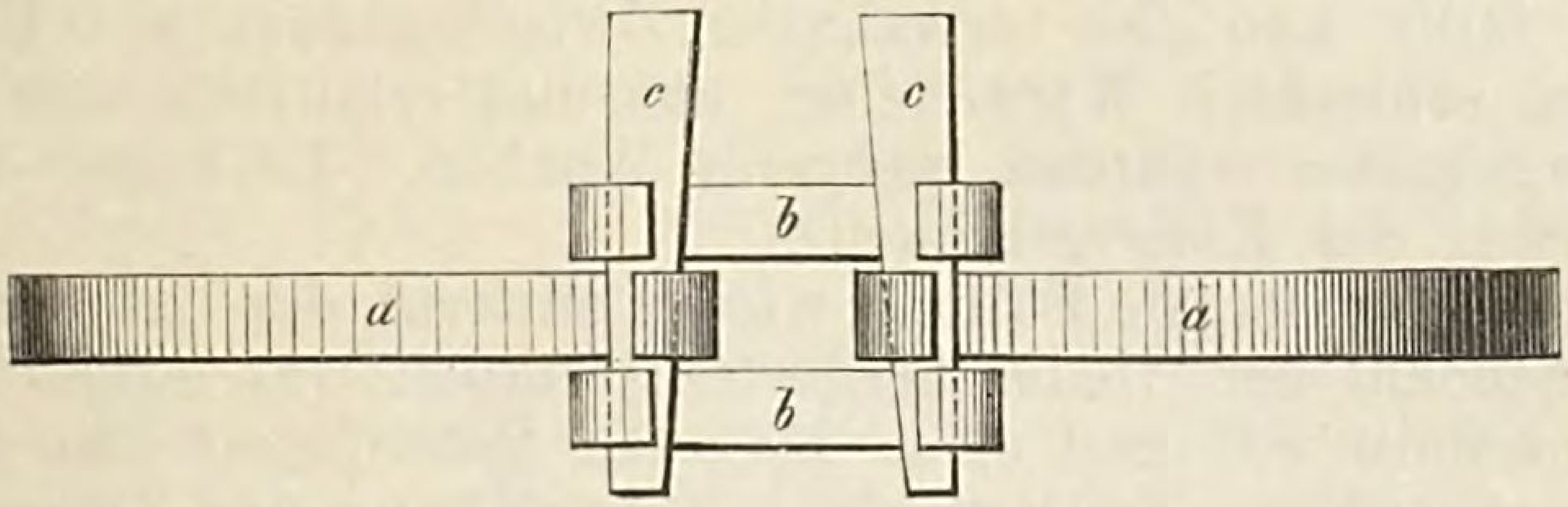


Verlag v. Arthur Felix, Leipzig.

Techn. art. Anst. v. Alfr. Müller, Leipzig-R.

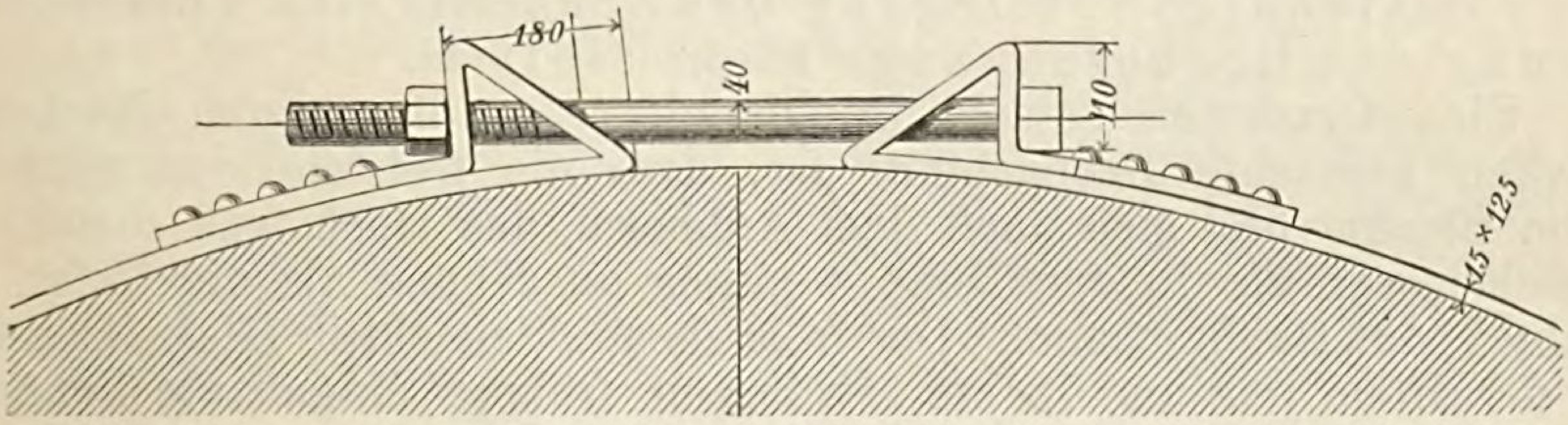
Man kann in verschiedener Weise diesen Verschluss einrichten. Fig. 91 zeigt eine einfache Verbindung durch Keile. *a a* ist der Anker, dessen Enden hackenartig umgelegt sind und ziemlich stark sein müssen; *b b* sind zwei schmiedeeiserne Bänder, ebenfalls mit umgebogenen Enden. Durch Anziehen der Keile *c c* wird, wie leicht ersichtlich ist, der Durchmesser des Reifens (Ankers) verkleinert.

Fig. 91.



In Fig. 92 ist eine Verbindung durch Schrauben dargestellt, deren Einrichtung ohne Weiteres verständlich sein wird. Bei Reifen von

Fig. 92.



grossem Durchmesser sind in jedem Falle mehrere solcher Verbindungen erforderlich, da jede einzelne immerhin nur ein beschränktes Maass der Verstellung ermöglicht.

Lehrreiche Versuche über den Einfluss, welchen die Beseitigung des früher üblichen Rauhgemäuers auf den Schmelzgang des Hochofens ausübt, wurden in den siebenziger Jahren bei dem Königlichen Eisenwerke zu Gleiwitz angestellt.[1])

Bei dem einen von zwei vorhandenen Hochöfen, welche ursprünglich mit starkem Rauhgemäuer und eingebautem Gestell versehen gewesen waren, wurde das Rauhgemäuer von der Gicht abwärts bis etwas oberhalb der Kohlensackebene abgebrochen, das Gestell ringsherum freigelegt und der Ofen mit freistehendem Schacht ohne Blechmantel versehen. Der noch übrig gebliebene Rest des Rauhgemäuers, welcher nur als Unterstützung für anderweitige Theile der Hochofenanlage beibehalten wurde, bildete solcherart eine Art Gürtel von ungefähr 3,5 m Höhe rings um den Ofen in der Gegend der Rast, mit welchem jedoch das eigentliche Ofengemäuer ohne alle Verbindung

1) Zeitschr. für Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Band XXII, Seite 260.

gelassen war, so dass zwischen Ofen und Rauhgemäuer ein Zwischenraum von 0,47 m Breite frei blieb.

Zunächst zeigte sich, dass bei dieser Anordnung, wo innerhalb jenes Zwischenraums ein lebhafter, die Abkühlung des Ofengemäuers in der Kohlensackgegend befördernder Luftwechsel stattfand, der Koksverbrauch (bezogen auf die Gewichtseinheit dargestellten Roheisens) unter übrigens gleichen Betriebsverhältnissen nicht grösser war als bei dem zweiten Hochofen mit starkem Rauhgemäuer.

Man füllte nun den erwähnten Zwischenraum mit Kokslösche, also einem schlechten Wärmeleiter, aus und ermittelte aufs Neue die Betriebsergebnisse während mehrerer Wochen. Es zeigte sich keine Verringerung des Koksverbrauchs.

Nachdem später die Füllung wieder entfernt, der Luftwechsel rings um den Schacht her wieder hergestellt worden war, ergab sich sogar als Durchschnitt während einer längeren Betriebszeit eine Ersparung an Koks gegenüber dem Betriebe mit Ausfüllung des Zwischenraums, welche mitunter bis auf 19 Hunderttheile stieg.

Wenn dieses letzte Ergebniss auch vielleicht durch andere Nebenumstände mit herbeigeführt worden ist, lassen die mitgetheilten Versuche doch die Schlussfolgerung als zweifellos erscheinen, *dass durch die vollständige Freilegung des Schachts eine Verschlechterung des Hochofengangs nicht eintritt.*

Eine fernerweit sowohl in Gleiwitz als auf anderen Hochofenwerken gemachte Beobachtung ist, dass die freistehenden Schächte ohne Blechmantel sich nach dem Anblasen des Hochofens sowohl im Durchmesser als in der Höhe weniger ausdehnen als die Oefen mit Mantel oder Rauhgemäuer. Der freistehende Schacht in Gleiwitz wuchs in der Höhe nur um 78 mm, während frühere eingebaute Schächte bis 235 mm gestiegen waren. Der Unterschied findet seine ausreichende Erklärung in der weniger starken Erhitzung des freistehenden Schachts. Für seine Haltbarkeit ist die Beschränkung der Ausdehnung nicht ohne Wichtigkeit.

Die Anordnung der Theile des Hochofens im Einzelnen.

Mit den in Vorstehendem geschilderten Aenderungen, welche die Bauart der Hochöfen im Allgemeinen während des neunzehnten Jahrhunderts erfuhr, gingen Aenderungen in der Anordnung der einzelnen Theile Hand in Hand. Auch der Ersatz der früher fast ausnahmslos benutzten natürlich vorkommenden feuerfesten Steine für den inneren Ausbau des Ofens durch Schamottesteine, deren Anfertigung um so mehr vervollkommnet wurde, je mehr der Bedarf stieg[1]), brachte gewisse Aenderungen mit sich. Jene natürlichen feuerfesten Steine lassen sich in grösseren Stücken als Schamottesteine beschaffen; die Anzahl der Fugen ist bei Benutzung der ersteren geringer, die Art und Weise

1) Jahrzehnte hindurch benutzte man nicht nur in Grossbritannien sondern auch in Deutschland und anderen Ländern, wo Hochöfen mit Koks betrieben wurden, mit Vorliebe Schamottesteine von Garnkirk in Schottland, welche sich des Rufs besonderer Dauerhaftigkeit erfreuten. In der Jetztzeit liefern deutsche Schamottefabriken ebenso vorzügliches Material.

des Verbands der Steine untereinander eine andere. Schamottesteine aber lassen sich ohne Schwierigkeit in jeder beliebigen Form, den geeignetsten Ofenumrissen entsprechend, anfertigen; die natürlich vorkommenden feuerfesten Steine sind ein sprödes Material, dessen Bearbeitung erhebliche Kosten an Arbeitslöhnen und Abfällen verursacht. Vorwiegend in Rücksicht auf den letzteren Umstand hatte man Jahrhunderte lang den vierseitigen Querschnitt des Ofeninnern, zumal des unteren Theils (wie bei dem Ofen Fig. 82 und 83 auf Seite 368), beibehalten, obgleich er für den gleichmässigen Niedergang der zu schmelzenden und geschmolzenen Massen zweifellos nicht günstig war; erst als man zur Benutzung künstlich gefertigter feuerfester Ziegeln für den Ofenbau überging, wurde der kreisförmige Querschnitt zur Regel.

Es möge hier daran erinnert werden, dass alle eisenoxydhaltigen feuerfesten Materialien für den Hochofenbau gefahrbringend sind, auch wenn sie an und für sich ausreichend widerstandsfähig sein sollten. Unter der Einwirkung des Kohlenoxyds im aufsteigenden Gasstrome auf das Eisenoxyd wird Kohlenstoff abgelagert (Seite 267); die Steine verlieren ihre Festigkeit und können binnen Kurzem vollständig zerfallen.[1])

Wesentlich vereinfacht wurde durch die Beseitigung des Rauhgemäuers der Hochöfen die Herstellung des Grundmauerwerks. Während in früherer Zeit ein kostpieliger, mindestens 3 bis 4 m hoher, oft noch auf einem Pfahlroste ruhender Unterbau nothwendig war, um den schweren Mauerkörper zu tragen (Fig. 82), genügt für die leichteren Bauten der Jetztzeit gewöhnlich eine Betonunterlage von etwa 1 m Stärke im Erdreiche, oder bei zuverlässigem Baugrunde auch wohl noch weniger, um dem Ganzen die nöthige Standfestigkeit zu verleihen. Auf dieser Unterlage wird das eigentliche Hochofenmauerwerk aufgeführt.

Die erste Arbeit ist die Befestigung der Fussplatten auf geeigneter Steinunterlage, auf welchen die zum Tragen des Schachts und zum Tragen der Gichtbühne bestimmten Ständer zu stehen kommen, dann die Aufstellung der Säulen selbst und die Befestigung des mehrfach erwähnten Tragkranzes für den Schacht. Alsdann kann der Aufbau des letzteren erfolgen, wobei die Steine in gewöhnlichem Verbande, jedoch möglichst dicht schliessend, zusammengefügt werden.[2])

Die Stärke des Schachts (in radialer Richtung gemessen) muss zum Theil von der Höhe des Hochofens abhängig und in Rücksicht

1) Einen Vorfall dieser Art theilt Limbor in der Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure mit. Im Jahre 1875 wurde nach neunmonatlichem Betriebe ein Hochofen der Friedrich-Wilhelmshütte, dessen Schacht aus Garnkirksteinen hergestellt war, ausgeblasen. Es zeigte sich, dass die Schachtsteine allen Zusammenhang verloren hatten und mit einer schwarzen Masse durchsetzt waren, welche neben 20 Theilen Eisenoxyd 24 Theile Kohlenstoff enthielt. Die noch unbenutzten Steine enthielten 6,23 Hunderttheile Eisenoxyd. Ein ähnlicher Fall wurde von Pattinson auf den Tees-Iron-Works in Middlesborough beobachtet (Journal of the Iron and Steel Institute 1876). Steine, welche in geringerem Maasse von Kohlenstoff durchsetzt sind, werden nach dem Ausblasen der Oefen häufig gefunden.

2) Einiges Nähere über die Vermauerung mit feuerfesten Ziegeln wurde auf Seite 171 mitgetheilt.

auf den Umstand bemessen sein, dass die untersten Steinlagen das Gewicht des ganzen Ofenschachts tragen müssen, ohne der Gefahr der Zerdrückung ausgesetzt zu werden. Zweckmässig ist es deshalb, die Stärkeabmessung der Steine von unten aufwärts allmählich abnehmen zu lassen, wodurch das Gewicht verringert und Material gespart wird. Bei mittelgrossen Oefen (15—20 m Höhe) pflegt eine Stärke der Schachtsteine im Fusse des Schachts von 750—800 mm ausreichend zu sein, während an der Gicht 600 mm Stärke genügt.

Bei vielen Schächten entspricht die Stärke der einzelnen Steine (in radialer Richtung) der Stärke des Schachts, so dass jeder Stein ziemlich beträchtliche Abmessungen bekommt; bei anderen wird der Schacht aus einer grösseren Zahl kleinerer Steine zusammengefügt. Die Abbildung Fig. 93 zeigt einen Schacht der letzteren Art. Die Zahl der Fugen wird hierbei erheblich grösser; aber die kleineren Ziegeln lassen sich leichter als grössere bei der Anfertigung gleichmässig brennen und sind beim Einmauern bequemer zu handhaben.

Das Einsetzen der Rast, des Gestells und Herds (mit dem Boden als unterer Begrenzung) bildet gewöhnlich, wie schon erwähnt worden ist, den letzten Abschnitt in der Herstellung des Ofengemäuers. Da diese Theile in besonders starkem Maasse den Einwirkungen der hohen Temperatur, der geschmolzenen Massen und der Hochofengase preisgegeben sind, ist gerade für ihren Aufbau und die Auswahl des Materials thunlichst grösste Sorgfalt unerlässlich.

Mehrfach hat man in neuerer Zeit Kohlenstoffziegeln (Seite 170) statt der Schamotteziegeln hierfür verwendet. Nicht immer haben sie die gehegten Erwartungen ganz erfüllt. Für den Herd sind sie z. B. unbrauchbar, wenn in dem Ofen kohlenstoffarmes Weisseisen erblasen wird. Es löst aus den Ziegeln Kohlenstoff auf, und diese sind baldiger Zerstörung preisgegeben. Mit gutem Erfolge sind dagegen für die Herdeinfassung und den Boden Magnesiaziegeln in Anwendung gebracht.[1])

Die Oberkante des Bodens muss so hoch über dem Erdboden liegen, dass dem aus dem Ofen abfliessenden Roheisen das nöthige Gefälle gesichert ist und insbesondere auch, dass die Entfernung der austretenden Schlacke sich mit Leichtigkeit bewerkstelligen lässt. Bei den meisten grösseren Hochöfen lässt man die Schlacke in tiefer stehende Wagen, welche für ihre Fortschaffung bestimmt sind, abfliessen; aus dieser Betriebsweise ergiebt sich alsdann die Nothwendigkeit, den Boden so hoch zu legen, dass seine Oberfläche sich 2,5 bis 3 m über der Erdoberfläche befindet. Die gegebenen Abbildungen neuerer Hochöfen (Fig. 89, 90) lassen diese Anordnung erkennen.

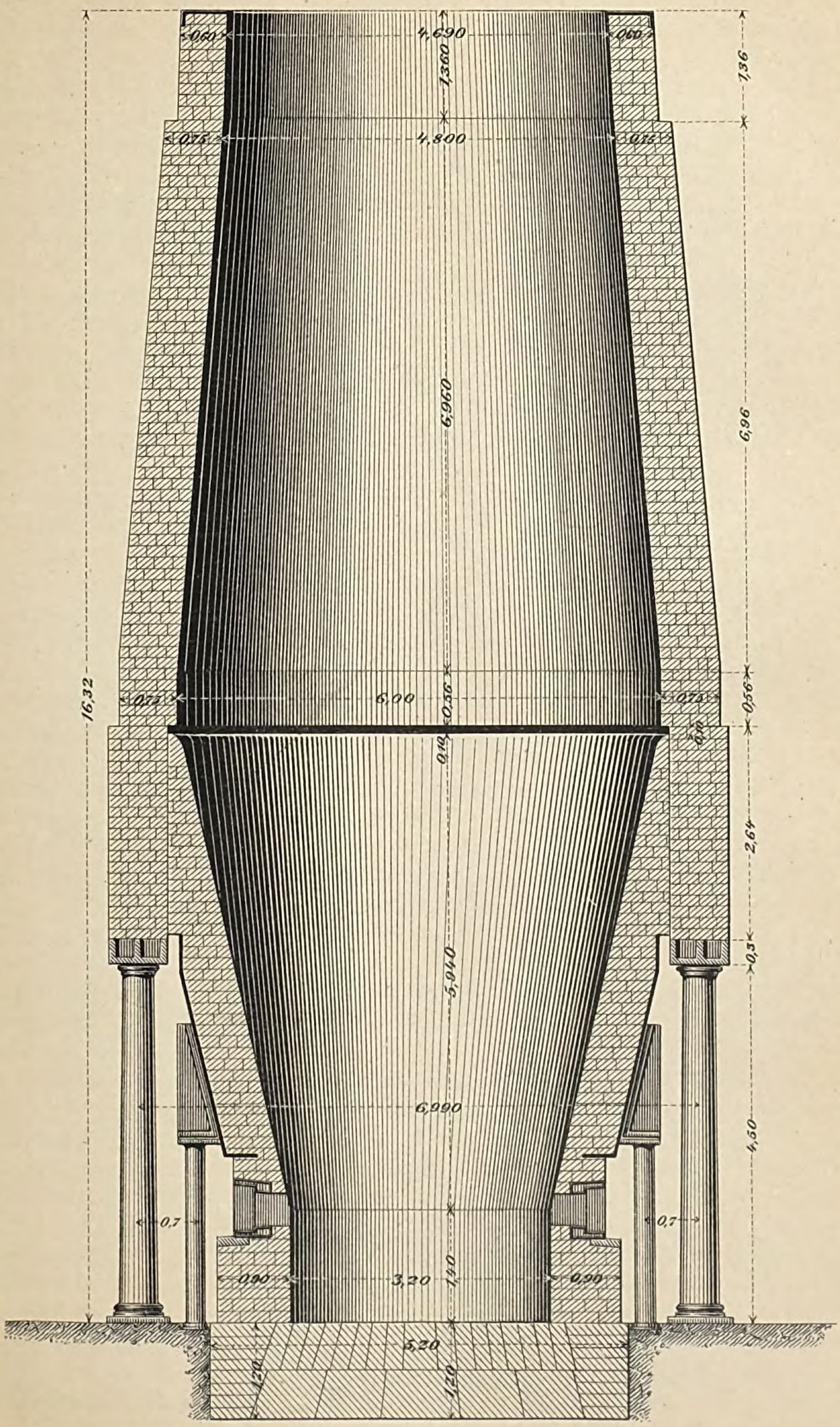
Zur Herstellung des Bodens müssen zahlreiche einzelne Ziegeln in solcher Weise zusammengefügt werden, dass jeder von ihnen durch die Nachbarsteine festgehalten wird, ohne dem Bestreben zum Emporsteigen in dem schwereren flüssigen Metalle nachgeben zu können und ohne diesem den Eintritt zwischen die Fugen zu ermöglichen. Man erreicht diesen Zweck gewöhnlich dadurch, dass man den mittleren Stücken des Bodens Keilform giebt und die daran stossenden in schräger

1) „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 984.

Hochofen I der Dortmunder Union 1892.

Fig. 93.

1/100 der wirklichen Grösse.



Verlag v. Arthur Felix, Leipzig.

Techn. art. Anst. v. Alfr. Müller, Leipzig-R.

Stellung dagegen legt, ähnlich als wenn man einen umgekehrten scheitrechten Bogen herstellen wollte. Die oben gegebenen Abbildungen von Kokshochöfen Fig. 88, 89, 90 und 93 lassen diese Anordnung erkennen. Die äussersten dieser Steine treten unter die Steine des Gestells und werden von diesen in ihrer Stellung festgehalten, während sie selbst es den übrigen Steinen unmöglich machen, aus ihrer Lage zu weichen. Gewöhnlich werden zwei Schichten solcher Steine übereinander angebracht, wobei die Fugen der unteren Schicht durch die Steine der oberen abgedeckt werden. Die Stärke dieser beiden Steinlagen zusammen pflegt 1,0 bis 1,5 m, mitunter auch noch etwas mehr zu betragen.

Gewöhnlich umgab man bisher den Boden durch einen schon zuvor, d. h. bei Beginn des Hochofenbaues, aufgeführten breiten Kranz von Mauerwerk, dessen Oberfläche den mit der Wartung der Windformen, des Schlacken- und Roheisenstichs beschäftigten Arbeitern als Bühne dient, und auf welchem zugleich die Säulen zum Tragen des Schachts und der Gichtbühne aufgestellt werden. Bei den Oefen Fig. 88, 89 und 93 ist diese Einrichtung erkennbar.

Wie aber das früher übliche Rauhgemäuer der Hochöfen diesen nicht nur keinen Schutz zu gewähren vermag, sondern im Gegentheil die raschere Zerstörung der dem Feuer ausgesetzten Theile befördert, indem es die Abkühlung hindert und die Vornahme von Ausbesserungen erschwert, ist auch jener den Boden umschliessende Mauerkranz für dessen Haltbarkeit eher nachtheilig als nützlich, sofern man nur dem Boden die erforderliche Standfestigkeit gegenüber dem auf ihm lastenden Drucke verleiht. Daher hat man nach Lürmanns Vorschlage [1]) neuerdings bei verschiedenen Hochöfen, darunter auch bei dem in Fig. 90 abgebildeten, den Mauerkranz um den Boden ganz fehlen lassen und diesen an den Seiten und unten mit einem aus Blech genieteten Mantel umgeben, welcher frei auf Eisenträgern ruht. Solcherart bleibt der Boden kühler und kann auch noch künstlich durch zugeführtes Wasser von aussen gekühlt werden, falls ein Wegschmelzen zu befürchten steht. Eine besondere Bühne muss bei einer Einrichtung der letzteren Art für die am Ofen beschäftigten Arbeiter geschaffen werden. Fig. 90 lässt erkennen, wie diese Aufgabe gelöst ist. An den zum Tragen des Ofenschachts befestigten Ständern sind die Kragstücke *aa* in entsprechender Höhe angeschraubt, auf denen nun die aus Blechtafeln gebildete Bühne ruht.

Bei Hochöfen, welche bleiische Erze verhütten, tritt das im Ofen reducirte, spezifisch schwerere und jedenfalls in einem ausserordentlich dünnflüssigen Zustande befindliche Blei durch die Fugen des Bodens hindurch nach unten (Seite 308). Es lässt sich gewinnen, wenn man unter dem Boden Kanäle anordnet, welche untereinander in Verbindung stehen und mit schwachem Fall nach aussen münden. Bei dem Hochofen Fig. 89 sind vier solcher Kanäle (in der Zeichnung mit *kk* bezeichnet) im Querschnitt unterhalb des Bodens sichtbar.

Auf dem Boden ruhen die Steine des Gestells (Herds), aus ein-

1) „Stahl und Eisen“ 1888, Seite 303. Eine ähnliche Einrichtung ist in den Vereinigten Staaten patentirt („Stahl und Eisen“ 1888, Seite 706; 1889, Seite 525).

zelnen Lagen in Verband aufgemauert. Freistehenden Gestellen für Kokshochöfen pflegt man eine Mauerstärke von 0,9—1 m zu geben. Ob man dazu Steine benutzt, deren Länge jedesmal gleich der ganzen Mauerstärke ist, oder ob man kürzere Steine in mehreren Schichten hintereinander zusammenfügt, hängt auch hier, wie bei der Herstellung des Schachts, zum Theil von der Beschaffenheit der Steine selbst ab. Die Abbildung Fig. 93 zeigt auch für das Gestell und die Rast die Anwendung kleiner Ziegeln. Für die Anbringung der Formen, des Stichs u. s. w. müssen die entsprechenden Oeffnungen gelassen werden, und man muss von vornherein bei Herstellung der Steine, zumal wenn man grosse Steine verwendet, hierauf Rücksicht nehmen.

Erhält der Ofen bei freistehendem Gestell offene Brust, so muss der Wallstein zwischen den Steinen des Gestells seine Befestigung erhalten, und die letzteren müssen in Rücksicht hierauf an der betreffenden Stelle entsprechend weit vorspringen, wie die Abbildung Fig. 94 erkennen lässt. Die vorderen Flächen dieser Vorsprünge werden mit starken gusseisernen Platten *aa* (Fig. 94 bis 96) bekleidet, um gegen Beschädigungen geschützt zu sein; in den Platten giesst man gewöhnlich Löcher ein zur Befestigung von Haken, welche zur Unterstützung schwerer, beim Betriebe benutzter Werkzeuge Verwendung finden können.[1])

Die Befestigung der Platten geschieht theils durch Schrauben, welche in die Gestellsteine eingelassen werden, theils durch Bänder, welche an den Platten befestigt sind und um das Gestell herumlaufen, während ein Paar Queranker oben und unten die beiden Platten unter sich verbinden.

An diesen Stirnplatten des Gestells kann nun auch die als Schutz für den Wallstein dienende Wallplatte *b* durch Haken und Keile oder in ähnlicher Weise befestigt werden. An ihrer Oberkante, und zwar ganz an dem einen Ende des Wallsteins, wird bei Oefen, deren Schlacke von selbst abfliesst (bei sämmtlichen Kokshochöfen und den auf weisses Roheisen arbeitenden Holzkohlenhochöfen), ein Einschnitt *c* angebracht, die Schlackenspur genannt, durch welche die Schlacke austritt, um auf der schon erwähnten Schlackentrift hinabzufliessen. An der entgegengesetzten Seite befindet sich das Stichloch *d*.

Die Breite der Brustöffnung ist bei kleinen Oefen (Holzkohlenöfen) gleich dem Durchmesser des Gestells. Hat das letztere, wie es früher üblich war, quadratischen Querschnitt, so werden hierdurch die Windformen, an denen vorzugsweise sich erstarrte Massen anzusetzen pflegen, leichter von aussen her erreichbar (wie in Fig. 83 auf Seite 368 erkennbar ist). Bei grossen Oefen mit weiten Gestellen würde jedoch eine dem Durchmesser gleiche Breite der Brustöffnung mancherlei Unzuträglichkeiten mit sich führen. Man pflegt deshalb in diesen Fällen jener Oeffnung eine Breite von nicht über 1 m zu geben, zumal da bei diesen grossen Oefen, welche mit hocherhitztem Winde betrieben zu werden pflegen, jener ursprüngliche Zweck der Einrichtung einer offenen Brust, die Ermöglichung des Losbrechens erstarrter Massen

1) Bei den Oefen der alten Zeit (Fig. 79, 82) gaben die Eckpfeiler des Rauhgemäuers eine bequeme Gelegenheit zur Befestigung des Wallsteins, der von einem Pfeiler zum anderen hinüberging und sich vor die Steine des Gestells legte.

in der Formgegend, eine geringere Bedeutung besitzt, als es früher beim Betriebe mit kaltem Winde und zäher Schlacke der Fall war.

Fig. 94.

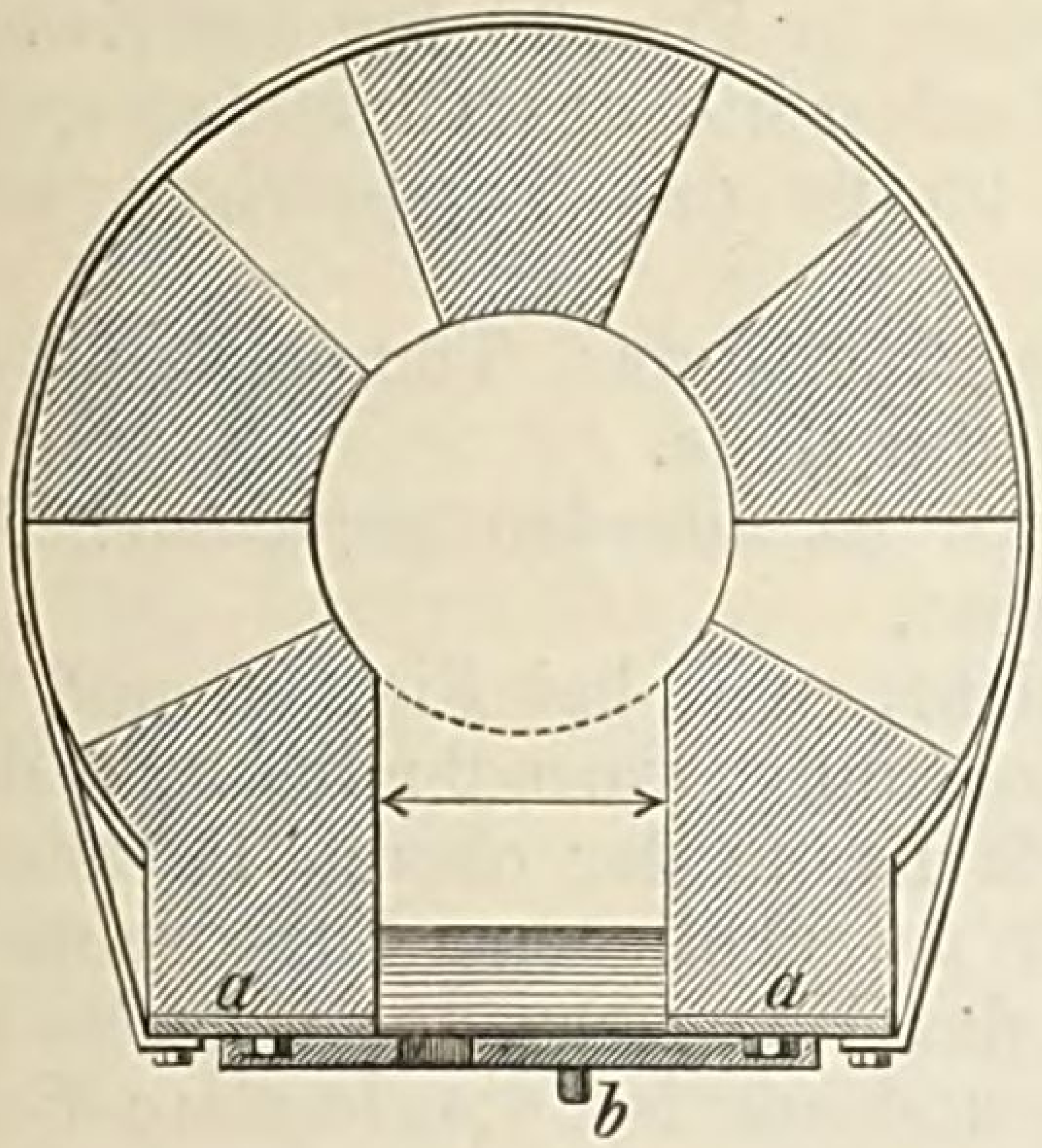


Fig. 95.

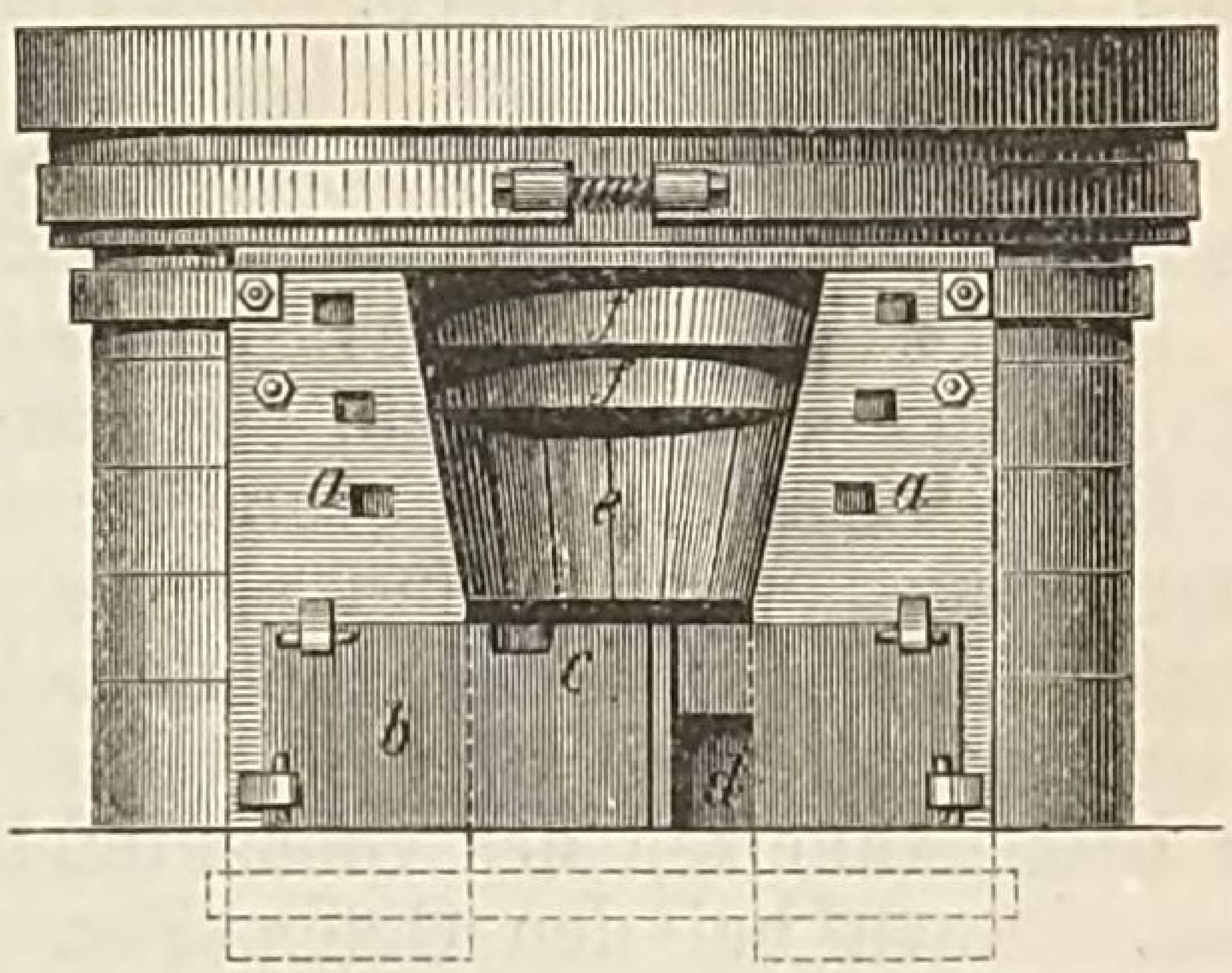
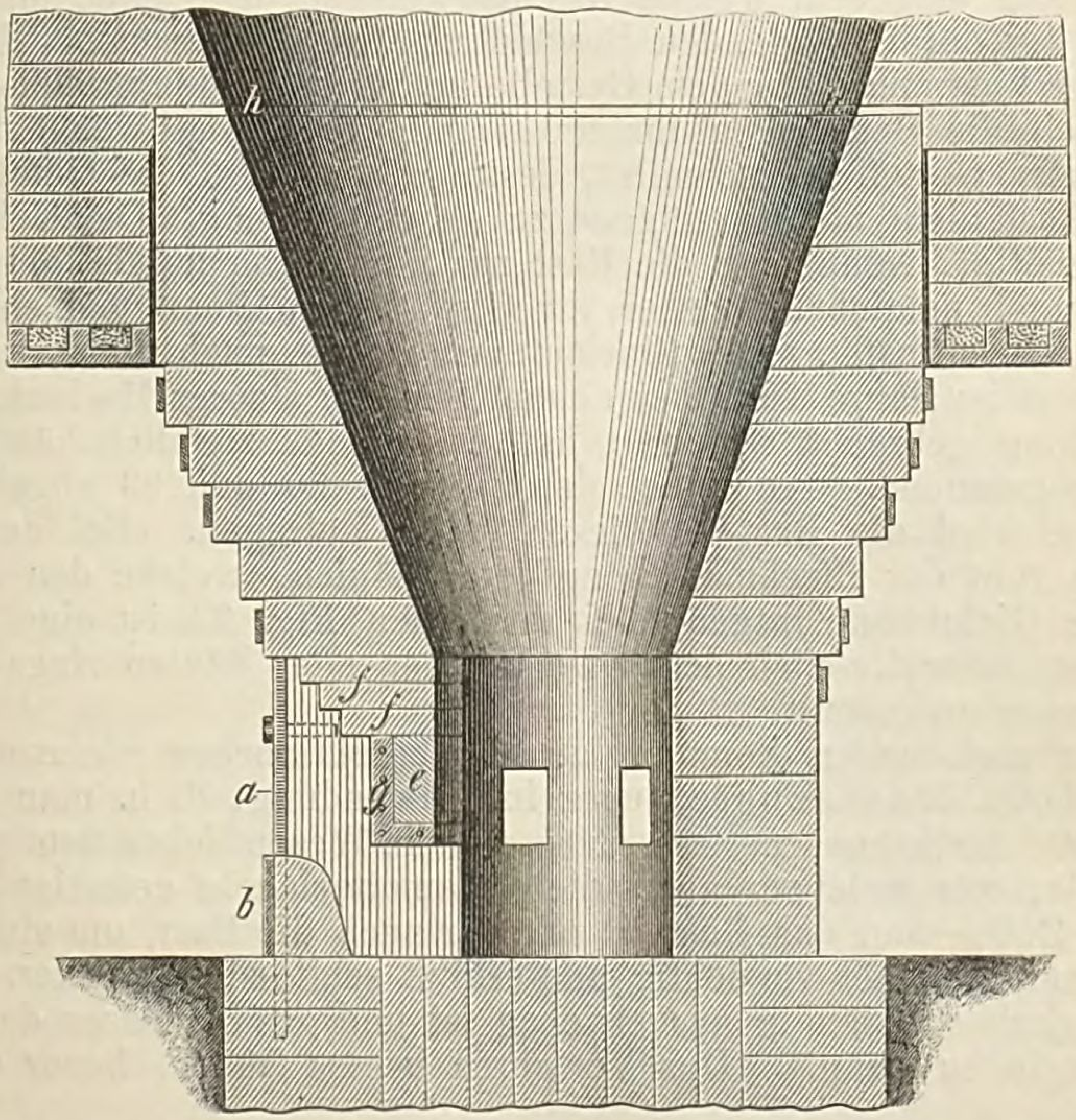


Fig. 96.



Den Tümpel *e* (Fig. 95) mauert man bei Benutzung von Schamottesteinen aus einzelnen Keilstücken als scheitrechten Bogen und giebt zu diesem Zwecke den als Widerlager dienenden Seitenwänden der

Brustöffnung eine entsprechende Abschrägung.[1]) Die Höhe jener Oeffnung des Gestells, in welche der Tümpel eingesetzt wird, pflegt man etwas beträchtlicher zu nehmen, als gerade für den Tümpel allein erforderlich sein würde, und dann den oberen Theil durch eingesetzte Steine *ff* zu schliessen. Das Tümpeleisen *g* Fig. 96 hat den Zweck, die untere und gewöhnlich auch die Vorderseite des Tümpels vor Beschädigungen zu schützen. In Figur 95 ist das Tümpeleisen weggenommen gedacht.

Von der gegenseitigen Stellung des Wallsteins, Tümpels und der Windformen war bereits auf Seite 358 die Rede.

Die Anordnung der Raststeine ist aus den gegebenen Abbildungen (Fig. 88, 89, 93, 96) erkennbar.

Häufig lässt man die oberste Schicht, wie bei Fig. 88 und 89, keilartig auslaufen. Eine andere Anordnung, vornehmlich zu dem Zwecke, die hierbei entstehende scharfe Kante der oberen Raststeine zu vermeiden, zeigt Fig. 96. Die bei *hh* gebliebene Fuge schliesst sich beim Anheizen des Ofens infolge des Wachsens des Gestells von selbst. Auch bei den Oefen Fig. 90 und 93 ist die letztere Form gewählt.

In Fig. 88, 89, 96 liegt die Rast äusserlich frei und ist nur durch Eisenbänder umgeben, welche das Ausweichen der Steine unter dem Drucke der darauf lastenden Beschickung verhüten sollen. Das Gewicht der Rast muss von dem Gestelle getragen werden, welches ohnehin durch die Oeffnungen für die Windformen geschwächt ist. Je stärker das Gestell wegschmilzt, desto grösser wird die Gefahr, dass es die Rast nicht mehr genügend zu stützen vermag. Der Uebelstand wird beseitigt, wenn man die Rast mit einem von aussen getragenen Blechmantel umgiebt, welcher ihr Gewicht aufnimmt und solcherart das Gestell entlastet. Die Einrichtung, welche nach Lürmann von ihm zuerst im Jahre 1867 bei einem Ofen der Georgs-Marienhütte zur Anwendung gebracht wurde[2]), hat neuerdings ziemlich häufige Benutzung gefunden. Auch bei den in Fig. 90 und 93 abgebildeten Hochöfen wird die Rast in dieser Weise getragen. Bei dem Ofen Fig. 90 ruht der Blechmantel auf den Säulen, welche den Schacht und die Gichtbühne tragen; bei dem Ofen Fig. 93 ist eine Gruppe kleinerer, ausschliesslich dem Zwecke dienender Säulen rings um die Rast herum aufgestellt.

Nur noch selten kommt statt der beschriebenen Steinzustellung für Hochöfen Massezustellung in Anwendung, d. h. man stampft an Ort und Stelle aus feuerfester Masse — im Wesentlichen dem gleichen Materiale, aus welchem auch die Schamotteziegeln gefertigt werden — den Boden und das Gestell, seltener auch die Rast, um ein Modell herum auf, trocknet vorsichtig und erhitzt schliesslich stärker, bis die Feuchtigkeit vollständig ausgetrieben ist und das Anblasen des Hochofens beginnen kann.[3]) Das Verfahren besass früher, bevor die An-

1) Bei den Oefen mit Sandsteinzustellung der alten Zeit pflegte der Tümpel aus einem einzigen grossen, auf den Herdsteinen aufruhenden Steine zu bestehen.

2) Näheres hierüber: „Stahl und Eisen" 1887, Seite 569.

3) In Laurahütte (Oberschlesien) werden die Hochöfen noch jetzt in dieser Weise zugestellt.

fertigung gut brauchbarer feuerfester Ziegeln zu dem erforderlichen Grade der Vollkommenheit ausgebildet worden war, grössere Bedeutung als jetzt. Wo ein geeigneter feuerfester Thon zur Bereitung der Masse zu erlangen war, und wo man die nöthigen Erfahrungen in der Ausführung der Arbeit sich erworben hatte, fertigte man auf jene Weise Zustellungen ohne alle Steinfugen; diesem scheinbaren Vortheile aber steht der Nachtheil gegenüber, dass das eigentliche Brennen der Masse erst während des Betriebs selbst stattfindet und dass jeder hierbei etwa entstehende Riss eine Gefahr für die Haltbarkeit bildet.

Der in Fig. 84 auf Seite 370 abgebildete Hochofen ist mit solcher Massezustellung versehen.

Man benutzt für die Anfertigung so viel als thunlich die alte Masse, welche nach dem Ausblasen des Hochofens herausgeschlagen wurde, zerstösst und siebt sie, versetzt sie mit so viel feuerfestem Thon und Magerungsmitteln, als zur Herstellung der erforderlichen Bildsamkeit und zum Ersatze des stattgehabten Verlusts an Masse erforderlich ist, weicht das Gemenge in Wasser ein und lässt es durch Treten auf einer Holzunterlage oder unter Benutzung einer Mischmaschine sorgfältig vermengen. Die Menge des zugesetzten Wassers darf nur eine solche sein, dass die Masse unter starkem Drucke eben bildsam ist, ohne an den Händen zu kleben.

Zunächst beginnt das Einstampfen des Bodens. Wie die Mehrzahl der aus Steinen gefertigten Böden ist er ringsherum von Mauerwerk in gleicher Höhe umgeben, welches fertig gestellt sein muss, ehe das Stampfen beginnen kann. Nun schüttet man von der fertig zubereiteten Masse eine Lage von mehreren Centimetern Höhe in die Vertiefung, breitet sie flach aus und stampft sie mit Hülfe eiserner, an hölzernen Stielen befestigter Stampfer, welche zuvor etwas angewärmt wurden, allmählich so fest, bis sie vom Nagel des Schuhs keinen Eindruck mehr annimmt. Dann kratzt man, damit die folgende Schicht sich besser mit der ersten verbinde, die Oberfläche mit einem scharfen Werkzeuge etwas rauh, schüttet eine frische Lage Masse ein und fährt in dieser Weise fort, bis der Bodenstein in seiner ganzen Höhe fertig zugestellt ist.

Auch das Gestell und die Rast, sofern letztere überhaupt in Masse gefertigt werden soll, müssen äusserlich durch Mauerwerk aus feuerfesten oder gewöhnlichen Ziegeln begrenzt sein, welches vorher fertig gestellt und innerhalb dessen das Einstampfen vorgenommen wird. Man bringt nun ein aus Brettern oder auch aus dünnen Gusseisenplatten zusammengefügtes und gut versteiftes Modell, dessen äussere Form genau den inneren Umrissen des herzustellenden Gestells entspricht, in den Ofen, schüttet Masse ringsherum und fährt in derselben Weise wie bei der Herstellung des Bodensteins mit dem Stampfen fort. Zur Erleichterung des Einstampfens lässt man das Modell aus mehreren Abtheilungen übereinander bestehen, welche der Reihe nach erst eingesetzt werden, wenn das untere Stück fertig umstampft ist. Schliesslich zieht man das Modell, welches zu diesem Zwecke zerlegbar sein muss, nach oben heraus.

Der Wallstein wird erst eingesetzt oder eingestampft, wenn alles Uebrige vollständig fertig ist.

Nun folgt das allmähliche Trocknen der Massezustellung durch ein vor dem Ofen unterhaltenes Feuer, welches mehrere Wochen hindurch ununterbrochen fortgesetzt wird. Trocknet man zu rasch, so entstehen Risse, oder es werden wohl gar Theile der Zustellung durch die sich entwickelnden Wasserdämpfe zum Abblättern veranlasst.

Erst wenn in solcher Weise das Wasser vollständig verflüchtigt ist, verlegt man die Feuerung in den Ofen selbst und geht hiermit zu dem Anwärmen über, welches die erste Arbeit des später zu beschreibenden Anblasens bildet.

Von erheblicher Wichtigkeit für die Haltbarkeit des Ofengemäuers ist die Anwendung von Kühlungen. Sie sind nothwendig geworden, seitdem man anfing, mit warmem Winde zu blasen und dadurch die Temperatur im Verbrennungsraume steigerte. Je stärker man den Wind erhitzte, desto umfänglichere Kühlungsvorrichtungen wurden erforderlich.

Nur Wasserkühlung ist für diesen Zweck benutzbar; Luftkühlung würde keinen genügenden Erfolg bieten.

Die Wasserkühlung wird bewirkt, indem man einen höher gelegenen, ausreichend grossen Behälter mit Wasser gefüllt erhält und von hier aus das letztere ununterbrochen durch Rohrleitungen den betreffenden Theilen zuführt. Das benutzte und erwärmte Wasser fliesst unten ab.

Da in verschiedenen Hochöfen die Temperaturen nicht immer dieselben sind, ist auch der Umfang der angewendeten Kühlvorrichtungen verschieden. Mit je heisserem Winde man arbeitet, desto höher ist auch die vor den Formen entwickelte Temperatur, desto sorgfältiger müssen die umgebenden Theile gekühlt werden; beim Betriebe auf graues Roheisen ist eine höhere Temperatur erforderlich als beim Betriebe auf gewöhnliches silicium- und manganarmes Weisseisen; beim Betriebe mit Koks, Steinkohlen, Anthraziten werden durchgängig höhere Temperaturen als beim Betriebe mit Holzkohlen im Verbrennungsraume erzeugt.

Zuerst waren es die Windformen, für welche die Anwendung einer Kühlung sich als nothwendig erwies. So lange man die Hochöfen nur mit kaltem Winde betrieb, bestanden die Windformen häufig nur aus einer kupfernen, kegelförmigen (nach innen sich verengenden) Hülse, welche in die Oeffnung des Gestells eingesetzt und mit feuerfestem Thon umstampft wurde.

Sobald man aber anfing, erwärmten Wind anzuwenden, zeigte sich eine derartige Form als vollständig unbrauchbar. Die Verbrennung ging rascher als zuvor, also auch in grösserer Nähe der Form, vor sich und die entwickelte höhere Temperatur brachte die Form oft schon nach Verlauf weniger Stunden zum Schmelzen.

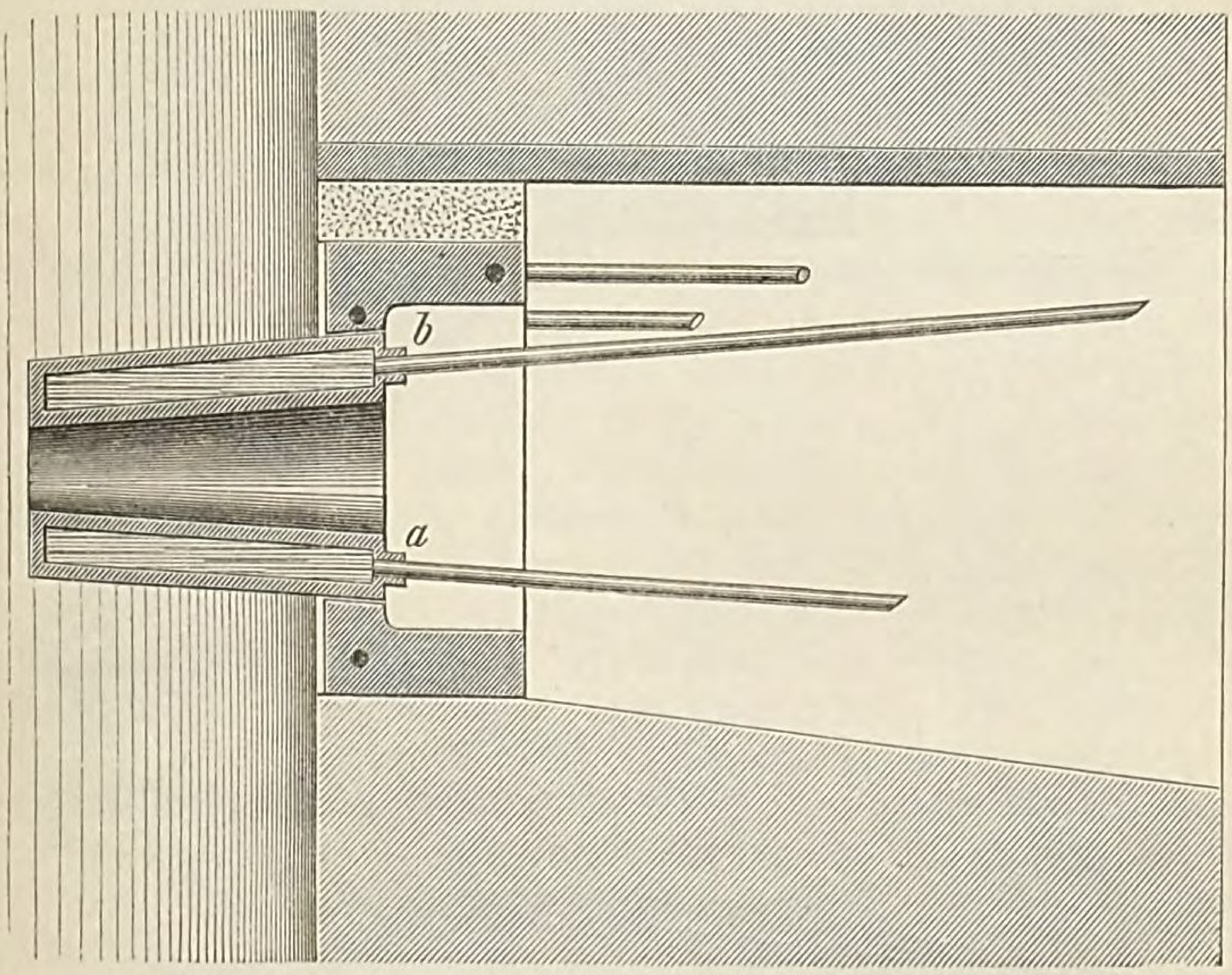
Bei allen Hochöfen wendet man deshalb jetzt wassergekühlte Formen an.

Im Laufe der Zeit sind ziemlich zahlreiche verschiedene Einrichtungen für die Kühlung der Formen getroffen worden. Die üblichste ist in Fig. 97 in $^1/_{15}$ der wirklichen Grösse abgebildet. Die schlank konische Form hat doppelte Wände und an der Rückseite zwei Rohransätze *a* und *b*, durch welche das Wasser ein- und austritt, und welche

zu diesem Ende mit der Rohrleitung verbunden werden. Am besten lässt man das Wasser durch den unteren Stutzen ein- und durch den oberen austreten; man erreicht dadurch, dass stets die ganze Form mit Wasser gefüllt bleibt und Dampfbildung nicht eintreten kann, so lange der Zu- und Abfluss nicht unterbrochen ist.

Gewöhnlich benutzt man für die Herstellung derartiger Formen Bronze, aus welcher die Formen in einem Stücke gegossen werden. Die Herstellung erfordert, wenn die Form haltbar sein soll, Umsicht und Erfahrung, und man sollte deshalb diese Formen nur aus Fabriken beziehen, welche die Anfertigung als Sonderzweig betreiben. Phosphorbronze [1]) wird als besonders geeignet für diesen Zweck bezeichnet.

Fig. 97.



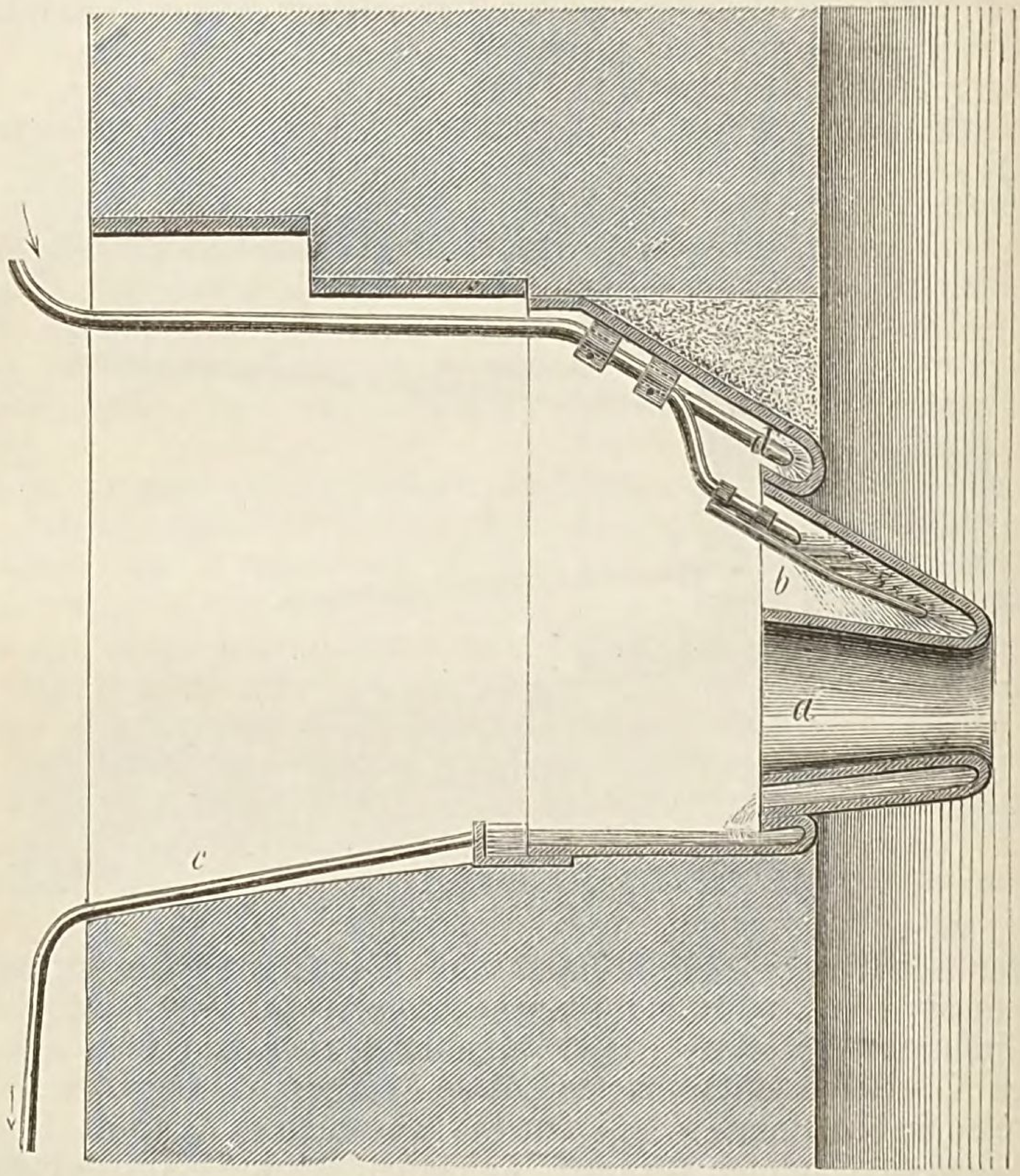
Der mit Wasser gefüllte Raum einer derartigen Form ist, so lange sie benutzt wird, vollständig unzugänglich. In ihm wird sich aus dem hindurchfliessenden Wasser allmählich Schlamm und unter Umständen Kesselstein ablagern; und diese Ablagerungen werden sich vorzugsweise in dem nach dem Ofen hin gewendeten engeren Ende der Form, dem sogenannten Rüssel, anhäufen, wo die stärkste Erhitzung stattfindet. Es wird dadurch nicht allein der Durchfluss des Wassers erschwert, sondern, je stärker die abgelagerte Schicht anwächst, desto weniger wird auch der dem Feuer ausgesetzte Theil der Form noch gekühlt werden, desto leichter wird ein Leckwerden eintreten.

Je mehr feste Bestandtheile das zur Kühlung bestimmte Wasser ablagert, desto häufiger wird ein Auswechseln derartiger Formen erforderlich, desto weniger geeignet sind sie für ihren Zweck.

1) Bekanntlich eine durch geringen Zusatz von Phosphorkupfer, dessen Phosphorgehalt die gelösten Oxyde zerstört, veredelte Bronze.

Aus diesem Grunde hat man mehrfach Formen in Anwendung gebracht, welche hinten offen sind, somit eine Reinigung von abgelagerten Körpern gestatten und nur durch eingespritztes Wasser kühl erhalten werden. Eine der einfachsten Einrichtungen dieser Art ist die von G. Hilgenstock erfundene Form, welche auf verschiedenen Hochofenwerken (z. B. Hoerde) mit gutem Erfolge eingeführt wurde und in Fig. 98 in $^1/_{15}$ der wirklichen Grösse abgebildet ist. *a* ist die eigentliche Form, aus Eisenblech gefertigt und an der Rückseite voll-

Fig. 98.



ständig offen. In dem oberen Zwischenraume zwischen innerer und äusserer Wand befindet sich das mit zahlreichen Oeffnungen versehene Wasserleitungs-Mundstück *b* von schaufelartiger Form, welches sich leicht an dem Zuleitungsrohre befestigen lässt, und aus dem das Wasser in einzelnen Strahlen gegen die Wände der Form gespritzt wird, um dann abwärts zu rieseln und schliesslich durch das Rohr *c* entfernt zu werden. Auf diese Weise ist nicht allein eine Reinigung der Form möglich, sondern auch ein eigentliches Leckwerden und Eintreten von Wasser in den Ofen — ein Vorfall, der bei den Formen der zuerst

beschriebenen Gattung gar nicht selten ist und die übelsten Folgen nach sich ziehen kann — ganz vermieden.[1])

Die Länge aller Hochofenformen pflegt 30—40 cm zu betragen. Der Durchmesser des „Auges“ der Form, d. h. der dem Ofen zugekehrten Oeffnung, durch welche der Wind austritt, ist gewöhnlich gleich dem Durchmesser der Düse (des Mundstücks der Windleitung) oder nur wenig grösser als dieser und demnach von der Windmenge, Windtemperatur, Windpressung und Anzahl der Formen abhängig. Bei den meisten Hochöfen beträgt dieser Durchmesser 8—15 cm.

Ueber die Stellung der Formen gegeneinander ist bereits auf Seite 365 Einiges mitgetheilt worden. Die Richtung der Formachse ist wagerecht. Wichtig aber ist die Lage des Formrüssels im Ofen selbst. In früherer Zeit schob man die Formen in der Formöffnung des Gestells nur so weit vor, dass die Ebene des Formauges mit der Ofenwand abschnitt (wie z. B. bei dem Ofen Fig. 84 auf Seite 370). Ein Hineinragen der stets kühl erhaltenen Form in den Gestellraum würde, solange man nicht mit stark erhitztem Winde blies, leicht die Bildung erstarrter und schwierig zu beseitigender Ansätze von Schlacke oder Eisen an der kalten Form bewirkt haben, wodurch, besonders bei engem Durchmesser des Gestells, der regelmässige Verlauf des Schmelzgangs beeinträchtigt worden wäre. Deshalb pflegt man auch jetzt noch bei Holzkohlenhochöfen, insbesondere wenn sie zur Graueisendarstellung bestimmt sind, diese Anordnung beizubehalten. Der durch die Form eintretende Wind wird nun allerdings auch bei dieser Stellung der Formen vermöge seiner lebendigen Kraft theilweise bis gegen die Mitte des Gestells vordringen, ein anderer Theil aber wird durch die Widerstände im Ofen schon in geringer Höhe über den Formen an die Wände zurückgedrängt werden, um hier emporzusteigen. Die Folge hiervon ist einestheils jene schon mehrfach erwähnte Verringerung der in der Mitte des Ofens aufsteigenden Gasmenge und Anhäufung der Gase an den Wänden, wodurch der Schmelzgang benachtheiligt wird; anderntheils ein rasches Wegschmelzen der Gestellwände in einigem Abstande über den Formen, wo durch die aufsteigende Gebläseluft die Verbrennung stattfindet. Gewöhnlich entsteht an dieser Stelle eine förmliche Ausbauchung.

Lässt man dagegen, wie bei den in Fig. 97 und 98 abgebildeten Formen, den Rüssel in das Gestell hineinragen, so wird dieser Uebelstand abgemindert. Der Wind wird bei vorgeschobenen Formen in einem weiteren Gestelle mit derselben Leichtigkeit bis zur Ofenmitte gelangen, als in einem engeren mit zurückstehenden Formen; ja der Umstand, dass die Widerstände in dem weiteren Gestelle geringer sind als in einem engeren, wird jenes Vordringen des Windes und seine gleichmässige Vertheilung noch erleichtern. Man erlangt also durch Vorschieben der Formen auch bei Anwendung weiterer Gestelle, deren Vortheile früher erörtert wurden, wenigstens theilweise die Vortheile,

1) Formen von ähnlicher Einrichtung als die Hilgenstocksche wurden früher schon von Teichmann (Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abth. 2, Seite 384), Hodgett (Berg- und hüttenm. Ztg. 1870, Seite 447), Plum (Journal of the Iron and Steel Institute 1878, Nr. I, p. 299) und Lloyd (Grothes polyt. Zeitschr. 1876, Nr. 29, 30) in Anwendung gebracht.

welche man früher durch enge Gestelle zu erreichen strebte, ohne deren grosse Nachtheile mit in Kauf nehmen zu müssen.

Auch in dieser Beziehung giebt es indess eine Grenze, welche nicht ohne Nachtheil für die Leistung des Ofens, den Brennstoffverbrauch und die Gleichmässigkeit des Schmelzgangs überschritten werden darf. Diese Grenze ist von der Form und Grösse des Ofens, von der Windpressung und Windtemperatur, von der Beschaffenheit der Schmelzmaterialien abhängig. Nach Cochrane[1]) steigerte sich bei einem Ofen, dessen Gestelldurchmesser 2,44 m war, während die Formen um 305 mm in denselben hineinragten, die Wochenerzeugung von 483 t auf 599 t, nachdem man die Formen so weit zurückgezogen hatte, dass sie nur noch 150 mm hineinragten. Der Brennstoffverbrauch in einer Woche nahm hierbei nur von 603 auf 630 t zu, war also, auf die Gewichtseinheit dargestellten Roheisens bezogen, ebenfalls entschieden günstiger, nachdem die Formen zurückgezogen worden waren. Je höher die Windspannung ist, desto weiter müssen offenbar die Formen auseinander liegen, damit die Windströme nicht gegenseitig sich stauen.

Bei kleinen Hochöfen setzt man die Formen häufig unmittelbar in die entsprechend grössere Formöffnung ein und schliesst den ringsherum bleibenden Raum mit feuerfester Masse; bei grösseren Hochöfen dagegen und insbesondere bei vorgeschobenen Formen benutzt man einen Rahmen zu ihrer Befestigung, welcher selbst mit Wasser gekühlt und zum Auswechseln eingerichtet ist. Die obigen Abbildungen Fig. 97 und 98 lassen zwei verschiedene Einrichtungen dieses Rahmens oder Kastens erkennen. Bei Fig. 97 besteht er aus Gusseisen mit eingegossenen schmiedeeisernen Rohren, welche ihn in verschiedenen Windungen durchziehen und durch welche ununterbrochen Wasser geleitet wird. Das Eingiessen der Rohre aber hat seine Schwierigkeiten. Daher findet man nicht minder häufig ganz hohle Kästen, aus Bronze gegossen oder aus Blech vernietet (z. B. bei dem Ofen Fig. 93). Damit der Kasten leicht ausgewechselt werden kann, macht man die zu seiner Aufnahme bestimmte Oeffnung im Gestell etwa 70 mm höher und 55 mm breiter, als die Abmessungen des Kastens betragen, und mauert nach beendigtem Einsetzen den Zwischenraum mit feuerfesten Steinen aus.

Bei der Form Fig. 98 besteht der Kasten aus Schmiedeeisen, ist hinten offen und wird, wie die Form selbst, durch eingespritztes Wasser kühl erhalten, welches bei *d* zufliesst und bei *c* gemeinschaftlich mit dem Kühlwasser der Form abfliesst.

Der seit Jahrzehnten bewährten Einrichtung der wassergekühlten Windformen wurde die Wasserkühlung des Schlackenabflusses bei geschlossener Brust nachgebildet und man gab daher dieser von Lürmann erfundenen Vorrichtung den Namen Schlackenform. Dass erst durch Einführung der gekühlten Schlackenform die allgemeinere Benutzung der Hochöfen mit geschlossener Brust ermöglicht wurde, ist bereits oben (Seite 359) erläutert worden.

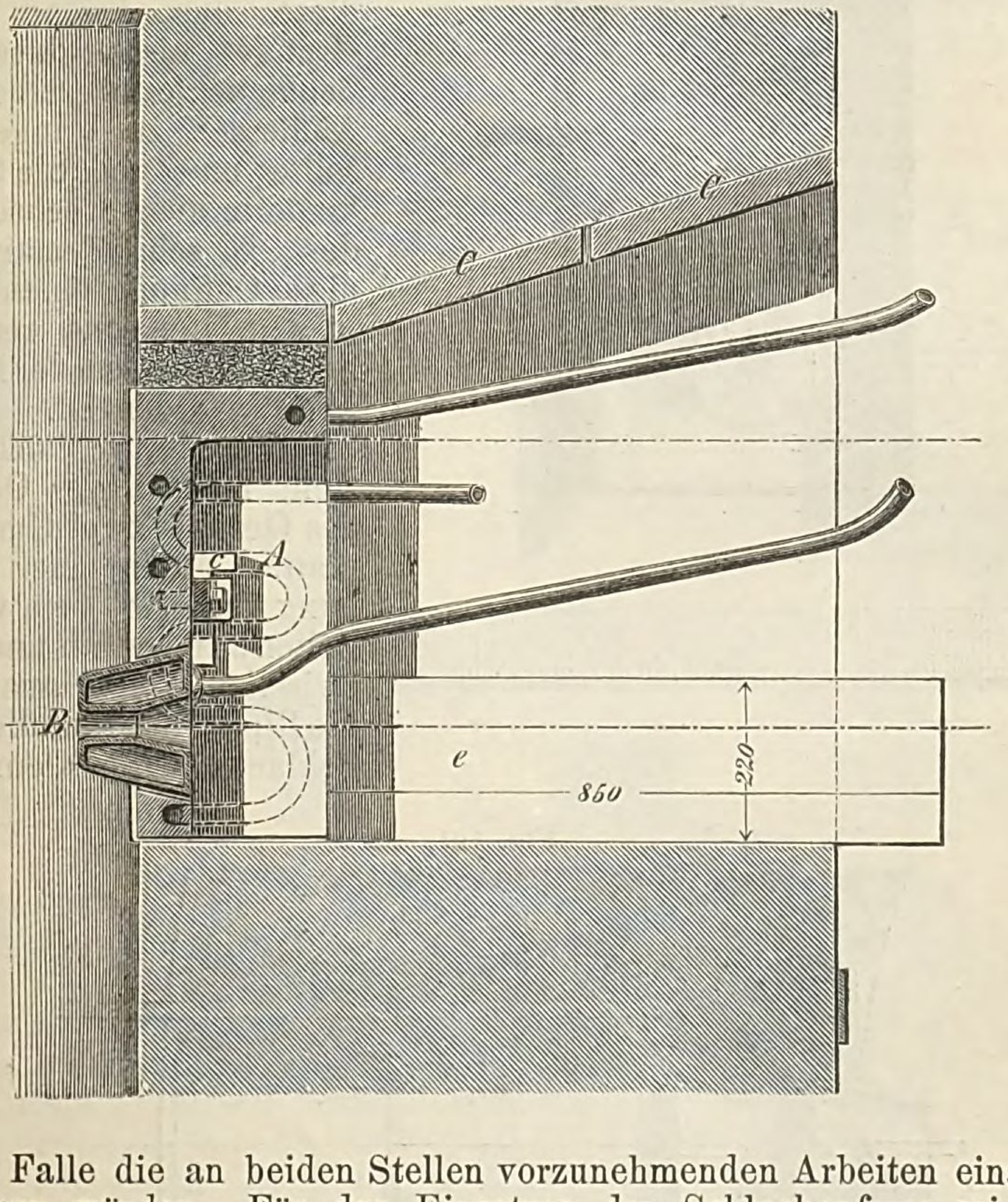
Die Abbildungen Fig. 99—101 zeigen die Einrichtung der Lürmannschen Schlackenform in $^{1}/_{15}$ der wirklichen Grösse.

B ist die eigentliche Schlackenform, aus Bronze nach Art der

1) „Stahl und Eisen" 1882, Seite 434, 555.

bronzenen Windformen mit doppelten Wänden und Wasserkühlung gefertigt. Ihr dem Ofeninnern zugekehrtes Auge hat 25 bis 40 mm Durchmesser, je nachdem die Schlacke mehr oder weniger dünnflüssig und die Menge, welche in der Zeiteinheit abfliessen muss, geringer oder beträchtlicher ist. Die Lage der Schlackenform muss eine solche sein, dass sie sich 35 bis 40 mm tiefer als die Windformen und an einer solchen Stelle des Ofens befindet, von wo die ausfliessende Schlacke leicht entfernt werden kann. Unzweckmässig würde es deshalb sein, die Schlackenform in die Nähe des Eisenstichloches zu legen, weil in

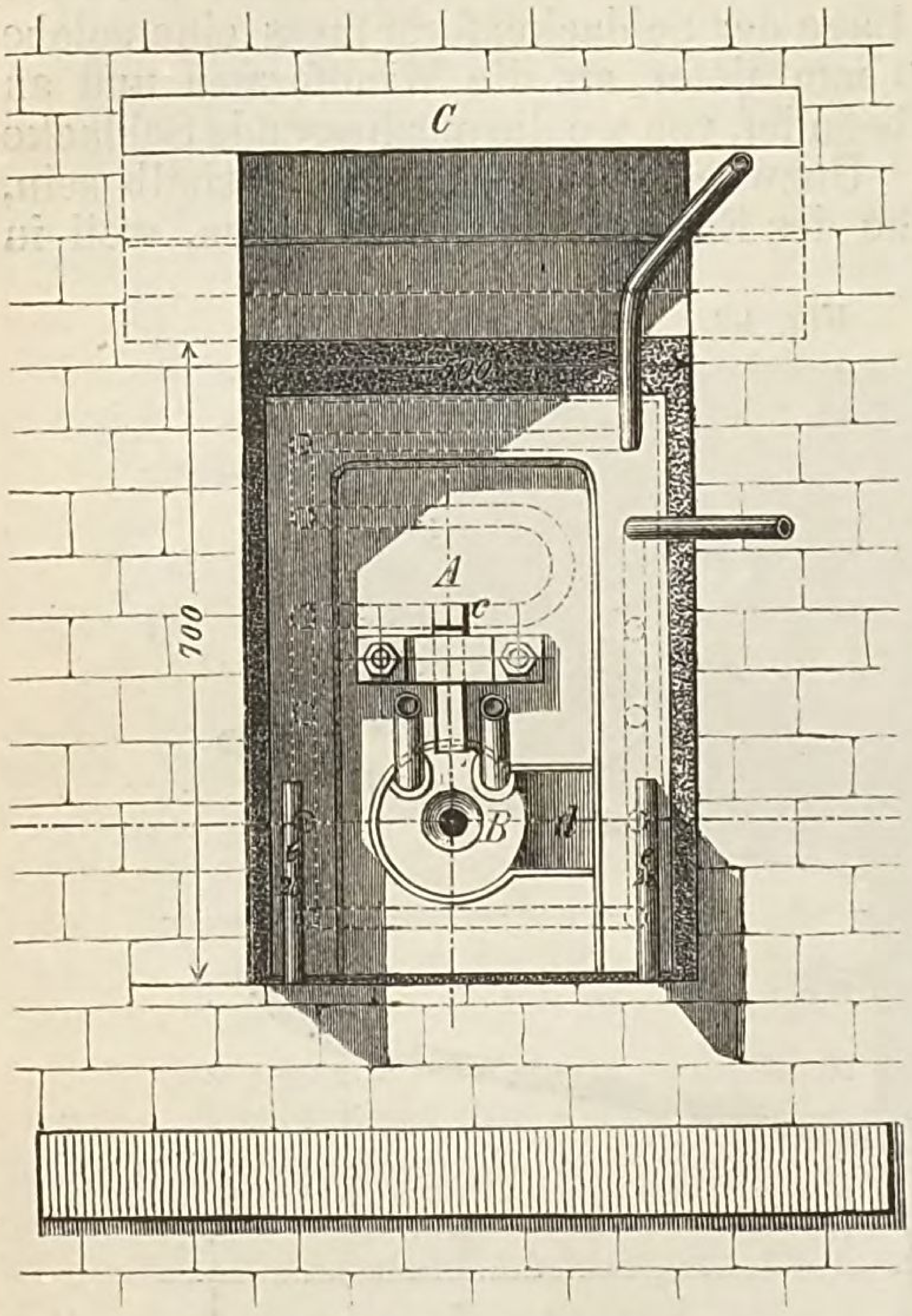
Fig. 99.



diesem Falle die an beiden Stellen vorzunehmenden Arbeiten einander behindern würden. Für das Einsetzen der Schlackenform wird im Mauerwerk des Gestells zunächst eine entsprechend grosse (gewöhnlich 70 cm hohe, 50 cm breite) Oeffnung ausgespart und oben mit Eisenplatten *CC* abgedeckt. Die Platten halten sich auch ohne Kühlung ausreichend gut und schmelzen nur so weit weg, als das Gestell sich allmählich erweitert. In diese Oeffnung kommt zunächst der Kasten *A*, mit eingegossenen Kühlrohren versehen oder ganz hohl gegossen. In dem Kasten ist die Oeffnung zum Einsetzen der Schlackenform ausgespart und darüber ein Riegel *c* angebracht, welcher, sobald er ab-

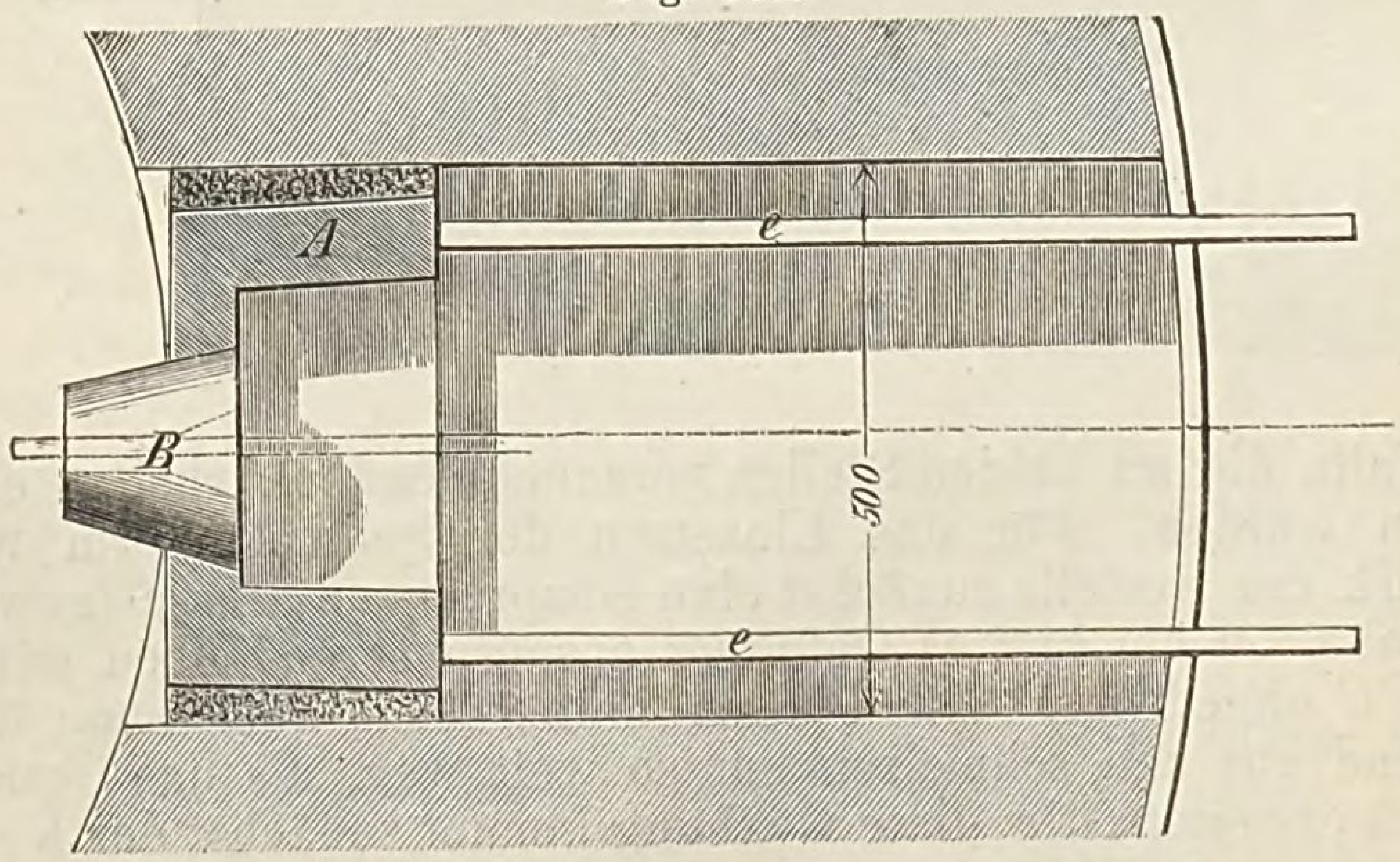
wärts geschoben wird, die eingesetzte Schlackenform in ihrer Lage festhält und vor dem Herausfallen schützt. Jene kreisrunde Oeffnung in dem Kühlkasten zur Aufnahme der Schlackenform hat an der Seite noch eine rechteckige Erweiterung *d* (Fig. 100), welche mit Thon verschlossen gehalten wird und einen doppelten Zweck hat. Sie wird zum Ablassen der Schlacke benutzt, wenn diese aus irgend einem Grunde nicht durch die Schlackenform selbst zum Abfliessen zu bringen sein sollte; muss aber die Schlackenform ausgewechselt werden, so schiebt man durch diese Oeffnung einen Haken in den Ofen und reisst sie heraus, nachdem der Riegel *c* gelöst worden ist.

Fig. 100.



Vor der Schlackenform stellt man in der Oeffnung des Gestells zwei Gusseisenplatten *e e* in einer Entfernung von etwa 4 cm von den Seitenwänden auf und bildet zwischen ihnen aus Masse die Rinne für die abfliessende Schlacke. Der 4 cm breite

Fig. 101.



Raum hinter den Platten kann zum Einlassen von Wasser benutzt werden, sofern die Platten zu stark erhitzt werden sollten.

Eine ebenfalls von Lürmann eingerichtete Kühlung des Roheisenstichlochs bei Oefen mit geschlossener Brust ist in Fig. 102 und 103 abgebildet und wird einer besonderen Erläuterung nicht bedürfen. Die wagerechte Deckplatte *F* wird ununterbrochen mit Wasser gekühlt. Die senkrechte Platte *G* wird überhaupt erst eingesetzt, wenn durch das Wegschmelzen die Stärke der Gestellwand am Stichloche geringer als 200 mm geworden ist. Mitunter aber genügt in diesem Falle die Abkühlung durch die Kühlplatte allein nicht mehr, das völlige Wegschmelzen und den Durchbruch des flüssigen Roheisens zu verhüten. Man hilft sich in diesem Falle, indem man vor dem Stichloche aus Thon einen Damm aufführt und den solcherart gebildeten Sumpf mit Wasser anfüllt, welches dann etwa $1^1/_2$ Stunden vor dem Abstiche abgelassen wird, damit die Laufrinne für das flüssige Roheisen hergestellt und getrocknet werden kann.

Fig. 102.

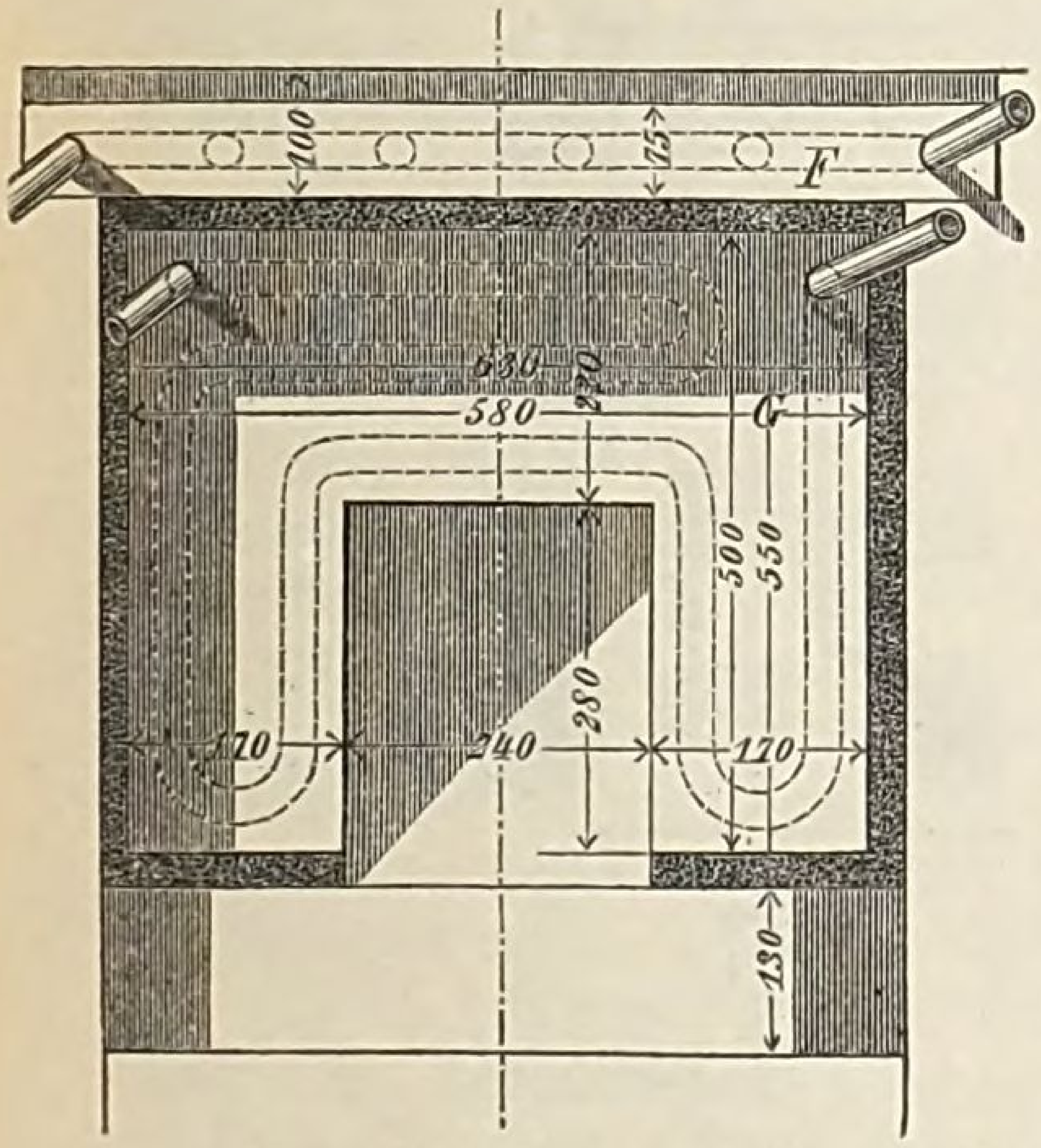
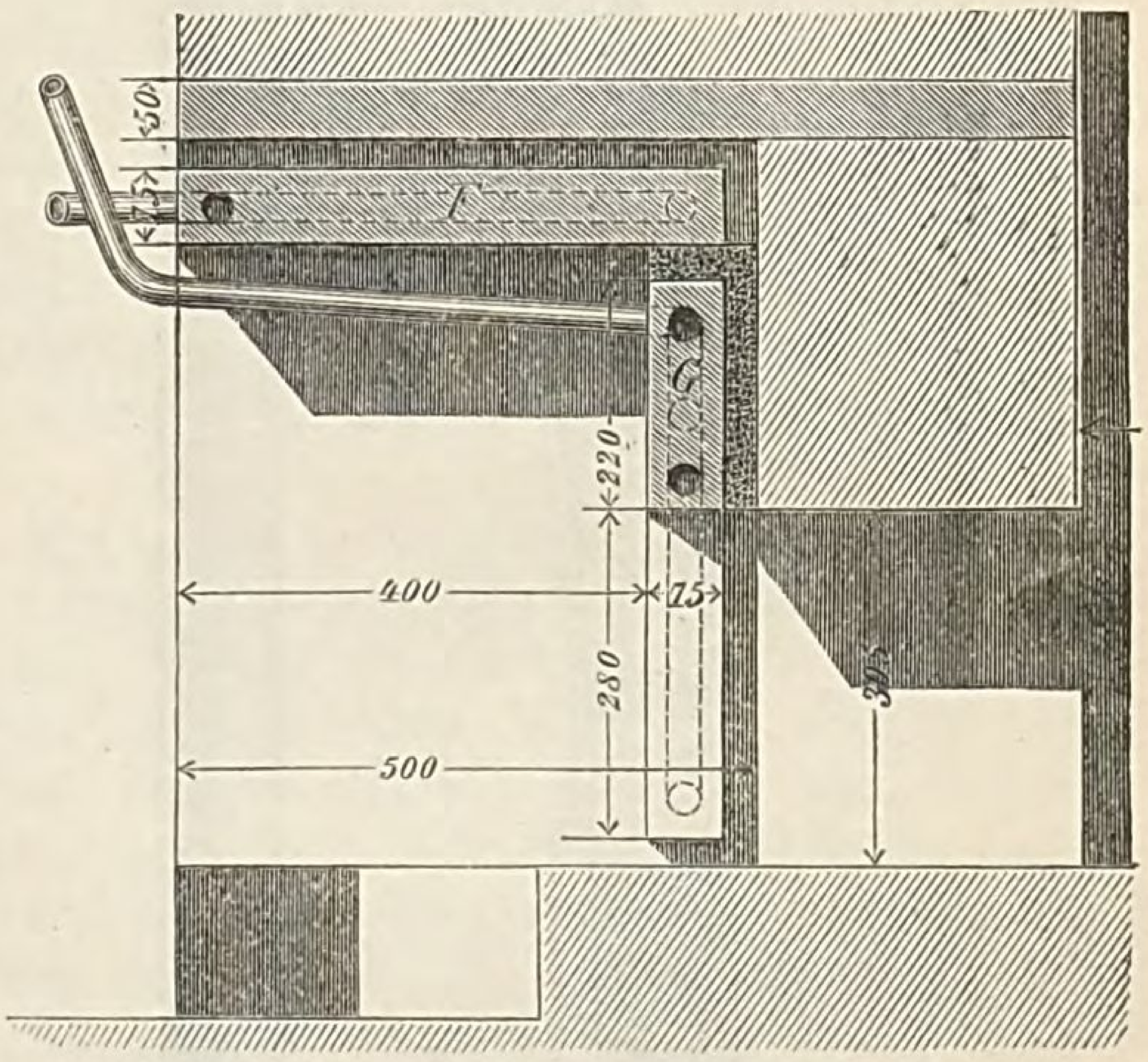


Fig. 103.



Bei Oefen mit offener Brust befindet sich das Stichloch in dem Wallsteine. Eine besondere Kühlvorrichtung pflegt in diesem Falle nicht angewendet zu werden, da der Wallstein, wenn es erforderlich sein sollte, sich ohne grosse Schwierigkeit auswechseln lässt; wohl aber kühlt man mitunter, doch nicht regelmässig, die Wallplatte und versieht sie zu diesem Zwecke ebenfalls mit eingegossenen, zum Hindurchleiten von Wasser bestimmten Schmiedeeisenrohren in ähnlicher Weise, wie es bei der Platte *G* (Fig. 102) geschehen ist.

Eine Kühlung des Tümpeleisens, welches in steter Berührung mit der flüssigen Schlacke sich befindet, ist für eine längere Dauer desselben unerlässlich. Man fertigt zu diesem Zwecke das Tümpeleisen aus Gusseisen und bewirkt die Kühlung mit Hülfe eines eingegossenen Rohres. Bei kleineren Holzkohlenhochöfen besteht das Tümpeleisen häufig nur aus einem Balken von quadratischem Querschnitte, welcher die Vorderkante des Tümpelsteins schützt und durch ein von einem Ende zum andern hindurchgehendes Rohr ohne Windungen gekühlt

wird; bei grösseren Hochöfen pflegt man dem Tümpeleisen die Form eines rechten Winkels zu geben, dessen einer Schenkel unter den aus mehreren Stücken zusammengefügten Tümpelstein greift (Fig. 96), ihm solcherart einen festeren Halt verleihend. In diesem Falle pflegt das Kühlrohr in verschiedenen Windungen in dem Tümpel hin und her geführt zu sein, um die Kühlung vollständiger zu machen. Die bisher mitgetheilten Beispiele gekühlter Gusseisenplatten (*A* in Fig. 99, *G* in Fig. 102) werden ausreichend sein, diese Einrichtung gekühlter Tümpeleisen auch ohne besondere Abbildung verständlich zu machen.

Fig. 104.

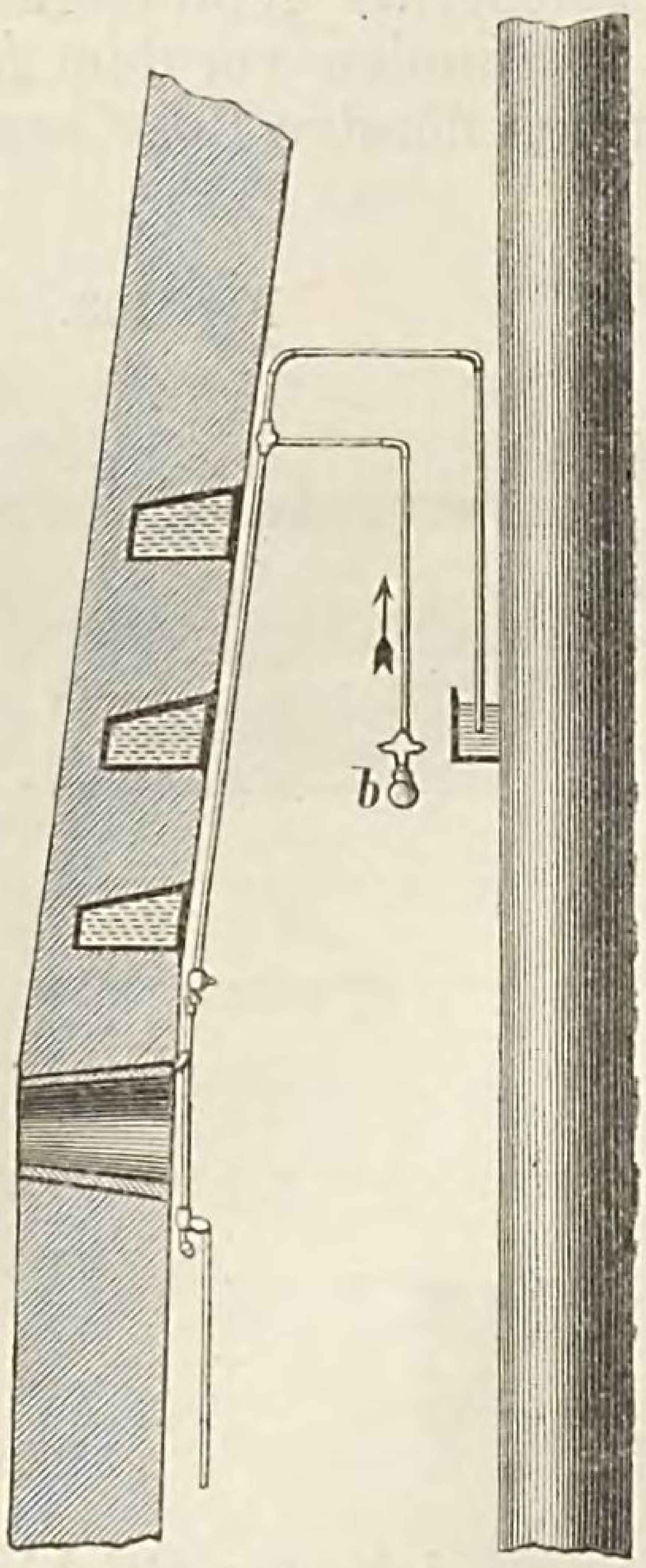
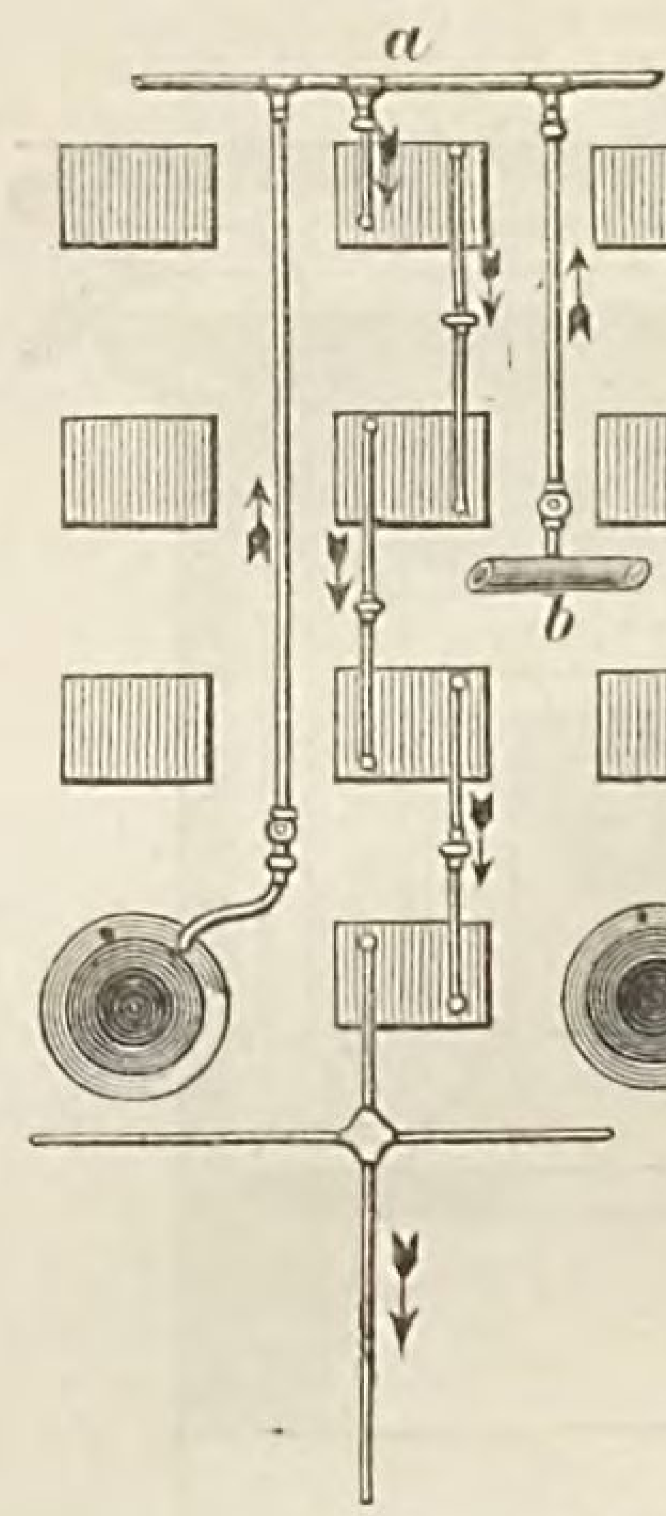


Fig. 105.



Eine theilweise Kühlung der Ofenwände wird schon durch die Anwendung der bisher besprochenen Kühlvorrichtungen, insbesondere der Kühlkästen für die Windformen, bewirkt; für Oefen jedoch, welche mit sehr heissem Winde betrieben werden, pflegt eine noch umfänglichere Kühlung des Mauerwerks im Gestell, der Rast und selbst des höher gelegenen Schachts erforderlich zu sein, um dieses vor raschem Wegschmelzen zu schützen.

Der Zweck lässt sich in verschiedener Weise erreichen.

Man kann z. B. eine Anzahl eiserner oder bronzener Kühlkästen an verschiedenen Stellen des Ofengemäuers, ähnlich wie die früher besprochenen Formkühlkästen, einlassen und ununterbrochen durch zugeleitetes Wasser kühl erhalten. Die Abbildungen Fig. 104 und 105 zeigen eine solche Einrichtung.[1]) In Fig. 104 sieht man drei Kühl-

1) „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 425. Kühlung eines Hochofens der Cambria Iron Company in Pennsylvanien.

kästen im Schnitt, darunter der wassergekühlte Kasten der Windform; in Fig. 105 ist die äussere Ansicht der Kühlkästen und die Zu- und Ableitung des Wassers angedeutet. Man bedient sich des aus den Kästen der Windformen kommenden Wassers. Es steigt zunächst in das oben liegende 50 mm weite Sammelrohr *a*, tritt aus diesem in die oberen Kühlkästen, und zwar unmittelbar über deren Boden, fliesst oben ab, gelangt in die darunter befindlichen Kästen u. s. f., wie in Fig. 105 deutlich erkennbar ist. Von einer Hülfswasserleitung *b* aus kann man kälteres Wasser zuleiten, falls das von den Formen kommende Wasser nicht ausreichen sollte. Am oberen Rande oberhalb der Austrittsstelle für das Wasser haben sämmtliche Kästen eine Oeffnung, durch welche Dämpfe entweichen können.

Aehnliche Kühlkästen sind in der Rast des Ofens Fig. 88 (Seite 372) sichtbar.

Bei einem andern Verfahren berieselt man das Mauerwerk äusserlich durch Wasser, welches aus ringsherum laufenden, mit feinen Oeffnungen versehenen Röhren dagegen gespritzt wird. Unten fliesst das Wasser an geeigneter Stelle ab. Mitunter findet man auch beide Kühlvorrichtungen neben einander in Anwendung.

Schwierig ist eine wirksame Kühlung des Bodensteins zu erreichen, wenn er, wie es bis vor Kurzem allgemein üblich war, von einem starken Mauerkranz umgeben ist (Fig. 88, 89). Giebt man ihm dagegen eine Anordnung wie in Fig. 90, so lässt sich durch äussere Berieselung Kühlung bewirken.

Die Menge des für einen Hochofen von grösseren Abmessungen erforderlichen Kühlwassers ist ziemlich beträchtlich, zumal wenn er auf Roheisensorten betrieben wird, welche für ihre Darstellung hoher Temperaturen, also auch hocherhitzten Windes, bedürfen. Soviel als irgend möglich pflegt man das zum Kühlen der Windformen und Windformkästen benutzte Wasser auch noch zum Kühlen der übrigen Vorrichtungen zu benutzen; aber für eine einzige Windform pflegt man 60 bis 75 l Wasser in der Minute, für den zugehörigen Kasten 75 bis 100 l zu verbrauchen. Daher ist ein Gesammtverbrauch von 2000 l Wasser in der Minute für einen Ofen nicht selten, und mitunter erhöht er sich auf das Doppelte jener Ziffer oder noch etwas mehr. Hochöfen dagegen, in welchen nur gewöhnliches, bei niedriger Temperatur erfolgendes Weisseisen erblasen wird, bedürfen weniger Kühlwasser; hier genügen oft 600 bis 1000 l vollständig, und noch geringer pflegt der Kühlwasserverbrauch bei Holzkohlenhochöfen zu sein.

In jedem Falle ist es zweckmässig, die Kühlung so zu regeln, dass das abfliessende Wasser nicht stärker als bis auf 50° C. erwärmt wird.

Die Art und Weise, wie die Gichtbühne, welche für die Arbeit des Aufschüttens der Schmelzmaterialien unentbehrlich ist, geschaffen wird, ergiebt sich zum Theil aus dem über den Aufbau des Ofens Gesagten.

Bei den früheren Oefen mit Rauhgemäuer war die obere Fläche des Mauerkörpers ausreichend gross genug, um als Gichtbühne zu dienen. Man hatte nur nöthig, sie mit eisernen Platten als Schutz

gegen Nässe und Beschädigungen abzudecken und ringsherum mit einer etwa 3 m hohen Wand einzufassen, um den Gichtarbeitern einen Schutz gegen Sturm zu gewähren.

Bei den Oefen mit Blechmantel benutzt man diesen zur Befestigung eiserner Kragstücke, welche die Gichtbühne zu tragen bestimmt sind (Fig. 86 auf S. 371). Die benachbarten Kragstücke werden durch aufgeschraubte Schmiedeeisenträger verbunden, zwischen welchen wieder kürzere Querstücke eingeschaltet werden können; schliesslich wird das ganze Trägernetz mit aufgeschraubten gerippten Eisenblechen abgedeckt. Eine am Umfange befestigte Wand aus Eisenblech verleiht auch hier den Arbeitern den erforderlichen Schutz.

In ganz ähnlicher Weise verfährt man bei den Oefen mit freistehendem Schachte ohne Blechmantel; nur dienen bei diesen statt der Kragstücke die oben erwähnten, vom Boden ausgehenden und unter einander verstrebten Säulen zur Befestigung des Trägernetzes, welches die eisernen Belagplatten aufnimmt.

Fehlerhaft würde es sein, den Schacht des Hochofens zum Tragen der Gichtbühne zu benutzen und ihn dadurch den Erschütterungen auszusetzen, welche diese durch die darüber rollenden, mit Erzen und Kohlen beladenen Karren erleidet. Ausserdem muss der Umstand berücksichtigt werden, dass beim Anblasen des Ofens der Schacht sich in der Höhenrichtung ausdehnt (wächst), und zwar pflegt diese Höhenzunahme 2 bis 3 Hunderttheile der ursprünglichen Höhe zu betragen, bei den Oefen mit Rauhgemäuer mehr, bei den freistehenden Schächten am wenigsten. Die Gichtbühne muss also in entsprechender Höhe über der Oberkante des noch kalt liegenden Ofens angeordnet werden, damit dieses Wachsen möglich sei, ohne dass die Gichtbühne gehoben wird, und den nach beendigtem Wachsen etwa gebliebenen Zwischenraum zwischen Bühne und Oberkante kann man später durch Einsatzstücke ausfüllen.

Bei solcher Einrichtung ist es jedoch, wenn man die Gichtbühne nicht in feste Verbindung mit dem Schachte bringt, also diesen nicht den erwähnten Erschütterungen aussetzen will, schwer vermeidlich, dass unverbrannte Gase aus dem Schachte seitlich entweichen und den auf der Bühne befindlichen Arbeitern gefährlich werden. Der Uebelstand lässt sich vermeiden oder doch wesentlich verringern, wenn man nach Lürmanns Angabe an der Bühne einen mit schwacher Steinfüllung ausgesetzten Blechcylinder befestigt, welcher stopfbüchsenartig einen auf dem Rande des Ofenschachts ruhenden Eisenring umschliesst (vergleiche oben Fig. 90), so dass dieser innerhalb jenes Cylinders verschiebbar bleibt. In der erwähnten Abbildung ist *b* der Gusseisenring, *c* der niederhängende Cylinder.[1])

Die Gichtbühnen benachbarter Hochöfen von gleicher Höhe werden durch eine eiserne Brücke mit einander verbunden. Ebenso wird der Gichtaufzug (siehe unten) mit der Gichtbühne in Verbindung gesetzt. Eine Treppe — gewöhnlich eine eiserne Wendeltreppe — an geeigneter Stelle ermöglicht die Ersteigung der Bühne.

1) Ueber einige sonstige Formen solcher Stopfbüchsen vergleiche „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 221.

4. Die Vorrichtungen zur Entziehung, Reinigung, Fortleitung und Verbrennung der Gichtgase.

Die Eigenthümlichkeiten des Eisenhochofen-Schmelzens bringen es mit sich, dass die aus der Gicht entweichenden Gase noch eine ziemlich bedeutende Menge von Kohlenoxyd enthalten, also eines Brennstoffs von hohem Brennwerthe. Die Höhe des Kohlenoxydgehalts richtet sich nach der Zusammensetzung der Beschickung und der Art des Betriebes, beträgt aber durchschnittlich etwa 24 Hunderttheile von der Raummenge der Gase, also fast ebensoviel, als in den aus Steinkohlen im Luftgaserzeuger gewonnenen Gasen enthalten ist (Seite 103), und daneben finden sich gewöhnlich noch einige Hunderttheile Wasserstoff und Kohlenwasserstoff (Seite 100).

Welche grossen Mengen nutzbaren Brennstoffs in dieser Weise täglich aus dem Hochofen entweichen, lässt sich unschwer berechnen. In einem mittelgrossen Hochofen für Koksbetrieb — also von etwa 350 cbm Rauminhalt — werden täglich mindestens 80 000 kg Kohle verbrannt, und für 1 kg verbrannter Kohle sind durchschnittlich in den Gichtgasen etwa 1,2 cbm Kohlenoxyd enthalten.[1]) Täglich entweichen also 96 000 cbm Kohlenoxydgas; und da 1 cbm bei der Verbrennung zu Kohlendioxyd 3000 W.-E. zu entwickeln fähig ist, beträgt die theoretische Wärmeleistung in der Secunde etwa 3300 W.-E., welche nach dem mechanischen Aequivalent der Wärme einer theoretischen Arbeitsleistung von fast zwanzigtausend Pferdestärken entsprechen würden. Die Wärmeleistung des miterfolgenden Wasserstoffs und Kohlenwasserstoffs ist hierbei nicht einmal mit berücksichtigt.

Wenn nun auch in Rücksicht auf die unvermeidlichen Wärme- und Arbeitsverluste bei unseren Feuerungsanlagen und Maschinen von jener theoretischen Leistung nur ein verhältnissmässig kleiner Theil wirklich nutzbar gemacht werden kann, so erklärt sich doch zur Genüge, dass die Wärmeleistung der Gichtgase bei nur einigermaassen zweckmässigen Einrichtungen ausreichend zu sein pflegt, sowohl den erforderlichen Dampf für die zum Betriebe des Hochofens erforderlichen Maschinen (Gebläse, Gichtaufzüge, Pumpen) zu liefern, als auch daneben den Gebläsewind auf eine hohe Temperatur zu erwärmen.[2])

1) Ermittelungen dieses Verhältnisses: C. Stöckmann, die Gase des Hochofens und der Siemens-Generatoren, Ruhrort 1876, Seite 35; Gruner-Steffen, Analytische Studien über den Hochofen, Wiesbaden 1875; Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1882, Seite 2 (Friderici); „Stahl und Eisen" 1890, Seite 591 (Gredt).

2) Die Wärmeleistung der Gichtgase verschiedener Hochöfen kann allerdings ziemlich abweichend sein. Die Gase eines Hochofens, welcher aus leicht reducirbaren reichen Erzen mit verhältnissmässig niederem Brennstoffaufwand weisses Roheisen erzeugt, werden geringeren Brennwerth besitzen als die Gase eines zweiten Hochofens, welcher unter ungünstigeren Verhältnissen arbeitet, graues Roheisen erzeugt und für die Darstellung der gleichen Menge Roheisen eines höheren Brennstoffaufwands als jener bedarf. Wenn man daher mit den Gasen des ersteren Hochofens nicht die gleichen Leistungen als mit denen des zweiten erzielen kann, so würde es doch voreilig sein, hier ohne weiteres zu schliessen, dass die Vorrichtungen zur Entziehung und Verbrennung der Gase bei dem ersteren Ofen weniger vollkommen als bei dem anderen seien.

Obschon also wirthschaftliche Gründe eine genügende Veranlassung zur Benutzung der Gichtgase zu geben vermögen, und obschon die lebhafte, unter starker Wärmeentwickelung aus der Gicht herausschlagende Flamme eines Hochofens, dessen Gase nicht entzogen wurden, längst auf deren Brennwerth hätte aufmerksam machen können, liess man doch bis zum Ende des vorigen Jahrhunderts diese Gase ziemlich unbenutzt entweichen oder verwendete höchstens die von der Gichtflamme selbst ausgehende Wärme zum Trocknen von Gussformen oder für ähnliche untergeordnete Zwecke. Da die Hochöfen der damaligen Zeit meistens noch mit Wasser betrieben, die Winderhitzung aber weit später eingeführt und die Preise des Brennstoffs verhältnissmässig gering waren, fehlte eben die Veranlassung zu umfänglicheren Versuchen in dieser Richtung.

Diese Verhältnisse erklären es auch, dass die ersten grösseren Versuche zur Benutzung der Gichtflamme, welche 1809 durch Aubertot auf einer Eisenhütte des Cher-Departements [1]) angestellt wurden, sich auf die Heizung von Oefen erstreckten, welche ohne alle Beziehung zum Hochofenschmelzen standen: Cementiröfen, Kalkbrennöfen u. a. Man baute die betreffenden Vorrichtungen auf die Gicht des Ofens und liess die Gichtflamme, ohne die Gase dem Hochofen selbst zu entziehen, hindurchstreichen. Von einer Gasfeuerung im engeren Sinne konnte demnach bei diesem Verfahren noch nicht die Rede sein.

Die ersten erfolgreichen Versuche, die Gase im unverbrannten Zustande dem Hochofen zu entziehen, um sie an einem beliebigen andern Orte zu verbrennen, wurden erst im Jahre 1837 von Faber du Faur in Wasseralfingen gemacht, und der Erfolg gab dann letzterem die Anregung zur weiteren Ausbildung der Gasfeuerung überhaupt und zur Darstellung von Heizgasen in besonderen Gaserzeugern. [2])

Ziemlich lange dauerte es jedoch, bis das Verfahren sich einer allgemeineren Anwendung erfreuen konnte. Obgleich inzwischen die vermehrte Anwendung von Dampfkraft für den Hochofenbetrieb, sowie die Einführung der Anwendung erhitzten Windes die Veranlassung zur Benutzung der Gichtgase weit näher als früher gerückt hatte, gelang es doch häufig nicht, die Gase in solcher Weise dem Hochofen zu entziehen, dass nicht eine Schädigung des regelrechten Verlaufs des Hochofenschmelzens damit verknüpft gewesen wäre. Man beging gewöhnlich den Fehler, die Gase aus einer allzu tiefen Zone des Hochofens abzuleiten, ehe sie noch ihre Aufgabe, als Reductionsmittel zu dienen, annähernd vollständig erfüllt hatten; und bei der geringeren Höhe der damaligen Oefen rächte sich dieser Fehler durch Vermehrung der Reduction durch festen Kohlenstoff (Seite 265) und demnach Erhöhung des Brennstoffverbrauchs. Was auf der einen Seite gewonnen wurde, ging durch diese üble Folge der falsch angelegten Gasentziehung wieder verloren.

Man kehrte infolge dieser trüben Erfahrungen vielfach wieder zu dem von Aubertot mehrere Jahrzehnte zuvor eingeführten Verfahren zurück: man legte die zu heizenden Oefen — Dampfkessel und Wind-

1) Journal des mines, vol. 35 (1814), p. 375.
2) Vergleiche Seite 96.

erhitzer — auf die Gicht des Hochofens, so dass sie von der bereits gebildeten Gichtflamme getroffen wurden, und noch in den siebziger Jahren konnte man bei einzelnen Holzkohlenhochöfen eine derartige Einrichtung antreffen.

Je höher aber die Oefen gebaut wurden, als desto schwerfälliger, unzweckmässiger musste sich eine solche Anordnung erweisen, während gleichzeitig die nachtheiligen Einflüsse der Gasentziehung sich verringerten, wenn der Ofen grösser war, und schliesslich vollständig beseitigt wurden, nachdem man geeignetere Einrichtungen als früher für die Ableitung der Gase getroffen hatte.

Es ist deshalb in der Jetztzeit allgemeine Regel, die Gase im unverbrannten Zustande dem Hochofen zu entziehen und sie in Leitungen nach den auf ebener Erde befindlichen, von ihnen zu heizenden Vorrichtungen zu führen. Die Einrichtungen aber, mit deren Hülfe dieses Ziel erreicht wird, sind ziemlich mannigfaltig.

Die Gasfänge.

Einen Gasfang nennt man eine am Hochofen angebrachte Vorrichtung, welche die im Ofen entwickelten Gase, bevor sie mit der Luft in Berührung treten und verbrennen können, aufnimmt, und aus welcher sie alsdann durch Leitungen ihrem Bestimmungsorte zugeführt werden.

Bei Faber du Faurs Gasfang dienten Oeffnungen, welche im Ofenschachte unterhalb der Gicht ausgespart waren und in einen um den Schacht herumlaufenden Kanal mündeten, zum Austreten der Gase. Die Beschickungssäule oberhalb der Oeffnung musste als Absperrung dienen; je tiefer unterhalb der Gicht demnach die Oeffnungen lagen, desto vollständiger wurden die Gase entzogen. Hieraus entstand der schon erwähnte Misserfolg, welcher sich geltend machte, je kleiner der Ofen war.

Eine ganze Gruppe von Gasfängen, welche theilweise jetzt noch in Benutzung sind, beruht jedoch auf denselben Grundsätzen, wie der von Faber du Faur erfundene: offene Gicht und Absperrung durch die Beschickung selbst.

Wenn bei den grösseren Hochöfen der Jetztzeit jene besprochene Benachtheiligung des Schmelzganges durch die Entziehung der Gase unterhalb der Beschickungsoberfläche keine Rolle mehr spielt, sofern man die Austrittsöffnungen nicht allzu tief im Ofen anordnet, so ist doch bei offener Gicht, eben weil jene Oeffnungen nicht sehr tief liegen dürfen, eine vollständige Entziehung der Gase nicht möglich. Ausserdem wechselt die Menge der gewonnenen Gase stetig während des Schmelzens; sie ist unmittelbar nach dem Aufschütten am grössten und verringert sich mit dem Niedergehen der Beschickungsoberfläche. Durch eine Nachlässigkeit oder zufällige Vorkommnisse kann es geschehen, dass die Beschickungsoberfläche bis unter die Gasentziehungs-Oeffnungen sinkt; die Gasentziehung hört alsdann ganz auf.

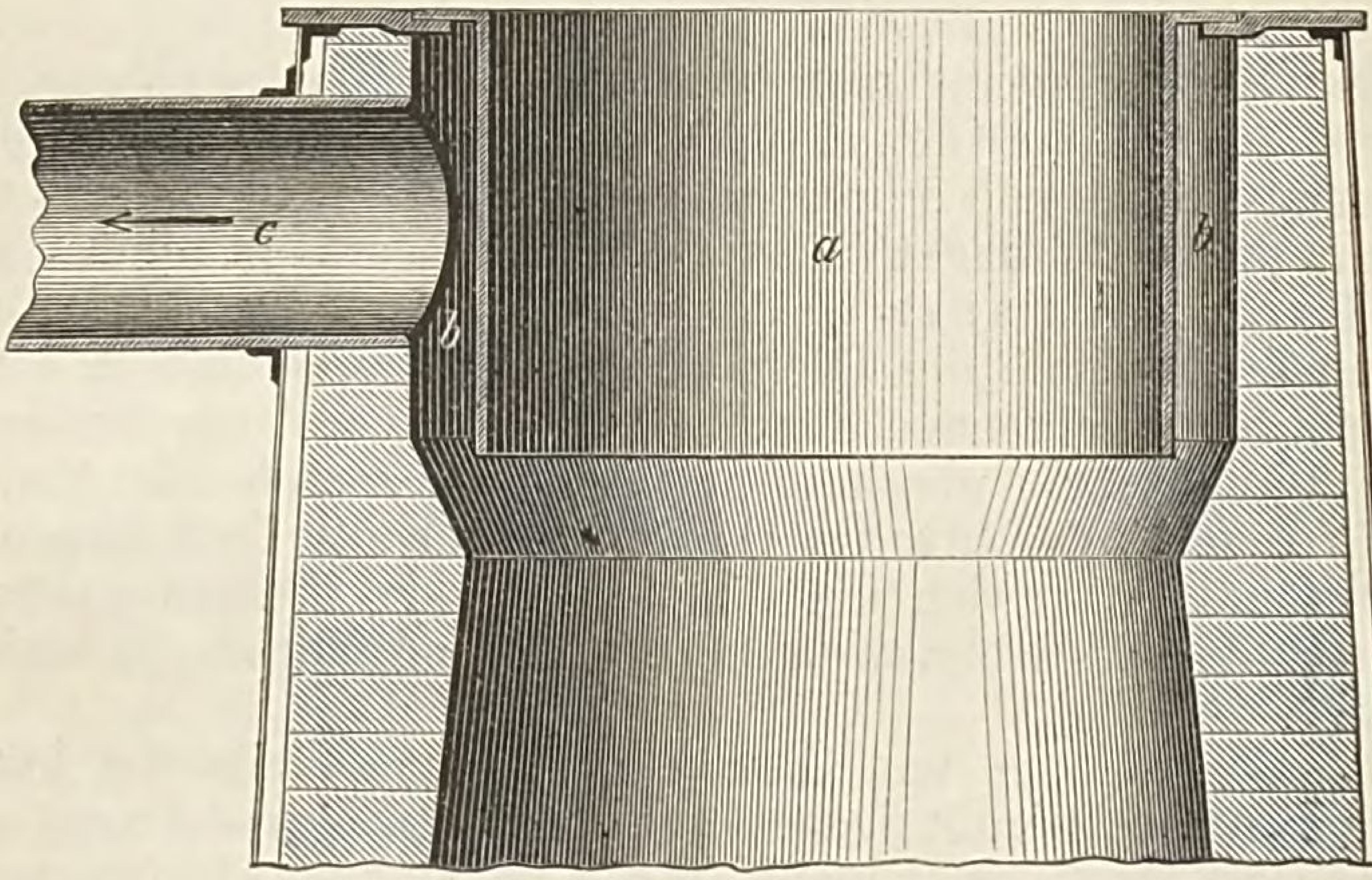
Man schloss also später vielfach die Gicht durch einen aufgelegten Deckel, welcher die Gase zwang, sämmtlich in die Leitung einzutreten, gleichviel ob die Beschickungsoberfläche hoch oder niedrig stand, ja selbst dann, wenn die Entziehungsöffnungen oberhalb der Beschickungs-

oberfläche sich befinden sollten. Die Nothwendigkeit, jene Oeffnungen entsprechend tief anzuordnen, fällt hierdurch weg.

Offenbar bezeichnet die Anwendung eines solchen Gichtverschlusses einen entschiedenen Fortschritt, aber bei dem jedesmaligen Aufschütten frischer Schmelzmaterialen muss der Gichtverschluss geöffnet werden, und die Gase entweichen. Je längere Zeit jenes Aufschütten beansprucht, desto grösser ist der dabei entstehende Gasverlust.

Bei einer dritten Gruppe von Gasfängen wird der erwähnte Nachtheil dadurch verringert, dass die aufzuschüttenden Körper, während die Gicht noch verschlossen gehalten wird, rings um den Verschluss herum angehäuft werden, um dann sofort in die Gicht einzustürzen, sobald der Verschluss geöffnet wird. Die Zeitdauer des Oeffnens kann hierdurch erheblich abgekürzt werden; nothwendig ist es jedoch, dem Gichtverschlusse eine solche Einrichtung zu geben, dass nicht allein die zuvorige Anhäufung der Schmelzmaterialien in der erwähnten Weise

Fig. 106.



möglich sei, sondern dass sie auch beim Einstürzen in solcher Weise im Ofen sich vertheilen, wie es dem Schmelzgange des Ofens am besten entspricht. Da beim Niedergange der Schmelzsäule die Erze als die schwereren Bestandtheile das Bestreben besitzen, um die Achse des Ofens herum sich anzuhäufen, hier den Gasen den Durchgang erschwerend, ist es meistens zweckdienlich, beim Aufschütten die Erze nach dem Umfange, die Brennstoffe nach der Mitte des Ofenquerschnitts hin anzuhäufen, ausserdem aber thunlichst eine Auflockerung der einstürzenden Körper um die Ofenachse herum zu bewirken.

Von den sämmtlichen bis jetzt angewendeten Gasfängen dieser drei Gruppen sollen nachstehend die wichtigeren einer näheren Besprechung unterzogen werden.

Pfortscher Gasfang, von dem Hüttenmeister Pfort in Veckerhagen im Jahre 1842 erbaut[1]) und seitdem auf zahlreichen Eisen-

1) C. Pfort, Der Flammofenbetrieb mit brennbaren Gasen zu Veckerhagen. Studien des Göttingenschen Vereins bergmännischer Freunde 1842, Seite 1.

werken benutzt. Die Abbildung Fig. 106 lässt seine Einrichtung erkennen. In die Gicht wird ein aus Gusseisen oder Eisenblech gefertigter Cylinder *a* eingehängt, dessen innerer Raum die eigentliche Gichtöffnung bildet. Zwischen diesem und der Ofenwand ist ein ringförmiger Kanal von 25—50 cm Breite ausgespart, in welchen die Gase eintreten, um von hier durch das Rohr *c* ihrem Verbrauchsorte zugeführt zu werden. Nicht selten hat man auch statt des einen Ableitungsrohres deren mehrere an verschiedenen Stellen des Umfangs angebracht, um solcherart der Gefahr zu begegnen, dass die Gase beim Aufsteigen zu sehr nach der Seite des Ofens, wo jenes Rohr sich befindet, hingezogen werden.

Der Kanal *b* wird am besten in der Weise hergestellt, wie es die Abbildung veranschaulicht, d. h. durch eine Erweiterung des gemauerten Schachts an der betreffenden Stelle. Der Durchmesser des Eisencylinders stimmt dann mit dem Schachtdurchmesser unterhalb dieser Stelle überein, und die Ofenbeschickung rückt gleichmässig abwärts. Bisweilen führt man auch den Ofenschacht ohne jene Erweiterung bis zur Gicht und giebt dem Cylinder dann einen entsprechend kleineren Durchmesser, so dass die Beschickung, sobald sie unter den Rand des Cydinders gelangt, eine plötzliche Ausbreitung erfährt.

Den Cylinder pflegt man an seinem oberen Ende mit einem herumlaufenden Borde zu versehen, mit welchem er in einem Gusseisenkranze hängt, der auf dem Ofenschachte aufruht. Auf diese Weise ist eine leichte Auswechselung möglich. Nicht selten hat man auch, wie bei dem Ofen der Friedrich-Wilhelmshütte (Fig. 88 auf Seite 372), den obersten Theil des Ofenschachts vollständig aus Eisen hergestellt, gewissermaassen als Aufsatz auf den gemauerten Schacht, wodurch das Einhängen des Cylinders, sowie die Anbringung der Abzugsrohre noch erleichtert wird.

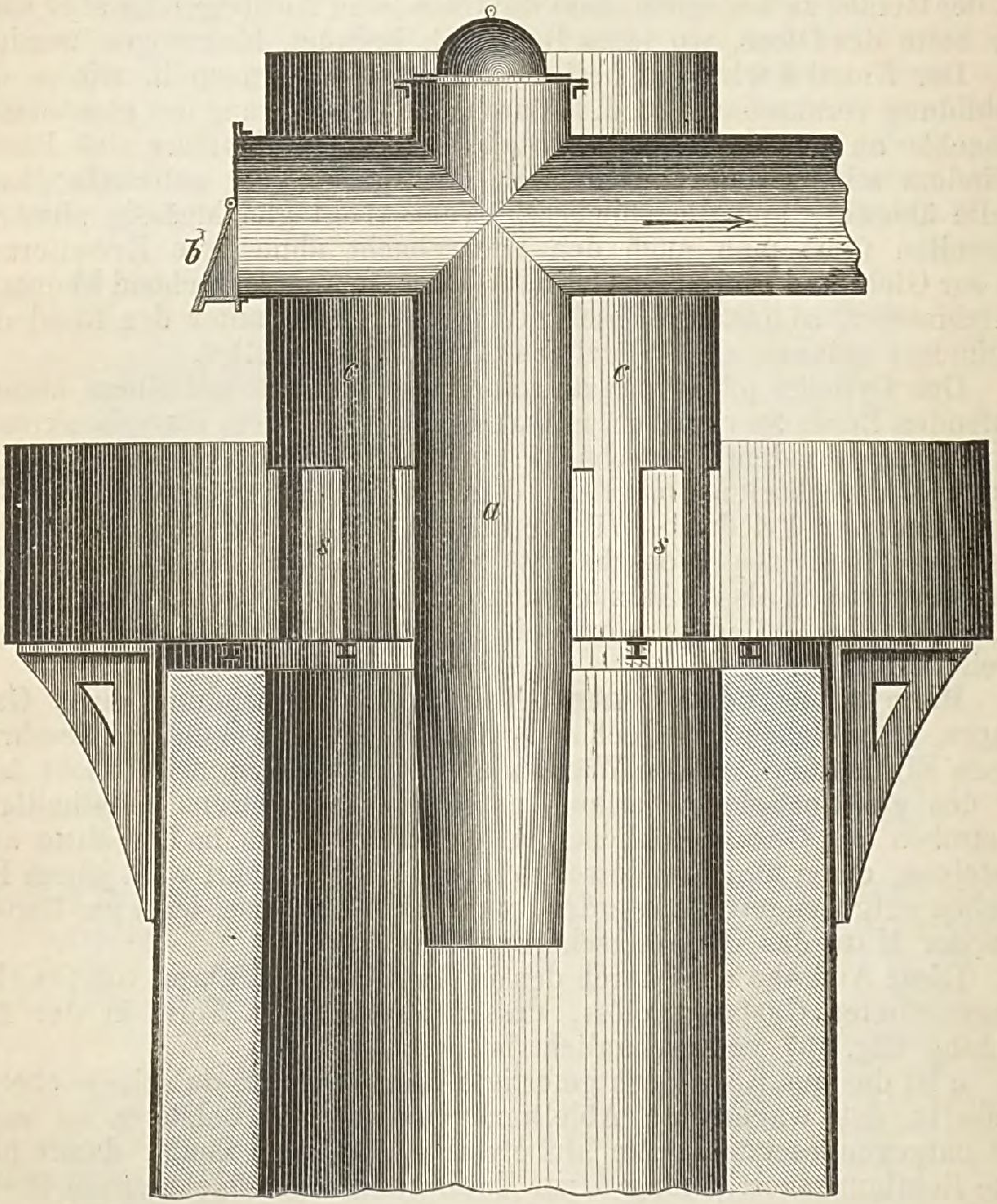
Darbysches oder Central-Rohr. Die Anwendung eines Gasfanges, bei welchem die Hochofengase, wie bei der vorstehend beschriebenen Einrichtung, an den Wänden abgeleitet werden, wird leicht dem für den gleichmässigen Verlauf des Hochofenschmelzens nachtheiligen Bestreben der Gase, reichlicher an den Wänden als in der Mitte aufzusteigen, einen ferneren Vorschub leisten. Umgekehrt wird jenem Bestreben entgegengewirkt werden, wenn man die Gase, statt am Rande, aus der Mitte des Ofenquerschnittes abzieht.

Diese Aufgabe wird durch den in den fünfziger Jahren von Darby eingerichteten Gasfang gelöst, dessen jetzt übliche Form in der Abbildung Fig. 107 veranschaulicht ist.

a ist das aus Eisenblech gefertigte Rohr, welches an seinem oberen Ende in das wagerechte Ableitungsrohr endigt. Letzteres ist nach der entgegengesetzten Seite hin etwas verlängert, theils, damit hier eine Reinigungsvorrichtung *b* zur Entfernung von abgelagertem Gichtstaube aus dem Rohre angebracht werden kann, hauptsächlich auch in Rücksicht auf die nothwendige Unterstützung der ganzen Vorrichtung. Diese Unterstützung wird entweder durch eiserne Ständer, die auf der Gicht unterhalb der wagerechten Rohre aufgestellt werden, bewirkt, oder man benutzt, wo eine eiserne Gichteinfassung (in der Abbildung mit *c* bezeichnet) vorhanden ist, diese zu demselben Zwecke, indem man die wagerechten Rohre von ihr tragen lässt.

Das Rohr *a* ist entweder vollständig cylindrisch oder, wie bei dem abgebildeten Gasfange, schwach nach unten verjüngt, wodurch die Reibung mit der niederrückenden Schmelzsäule verringert wird. Je grösser der Durchmesser des Rohrs ist, desto leichter und vollständiger werden die Gase in das Rohr eintreten, aber desto enger wird auch der rings um das Rohr herum bleibende Raum zum Aufgichten der

Fig. 107.



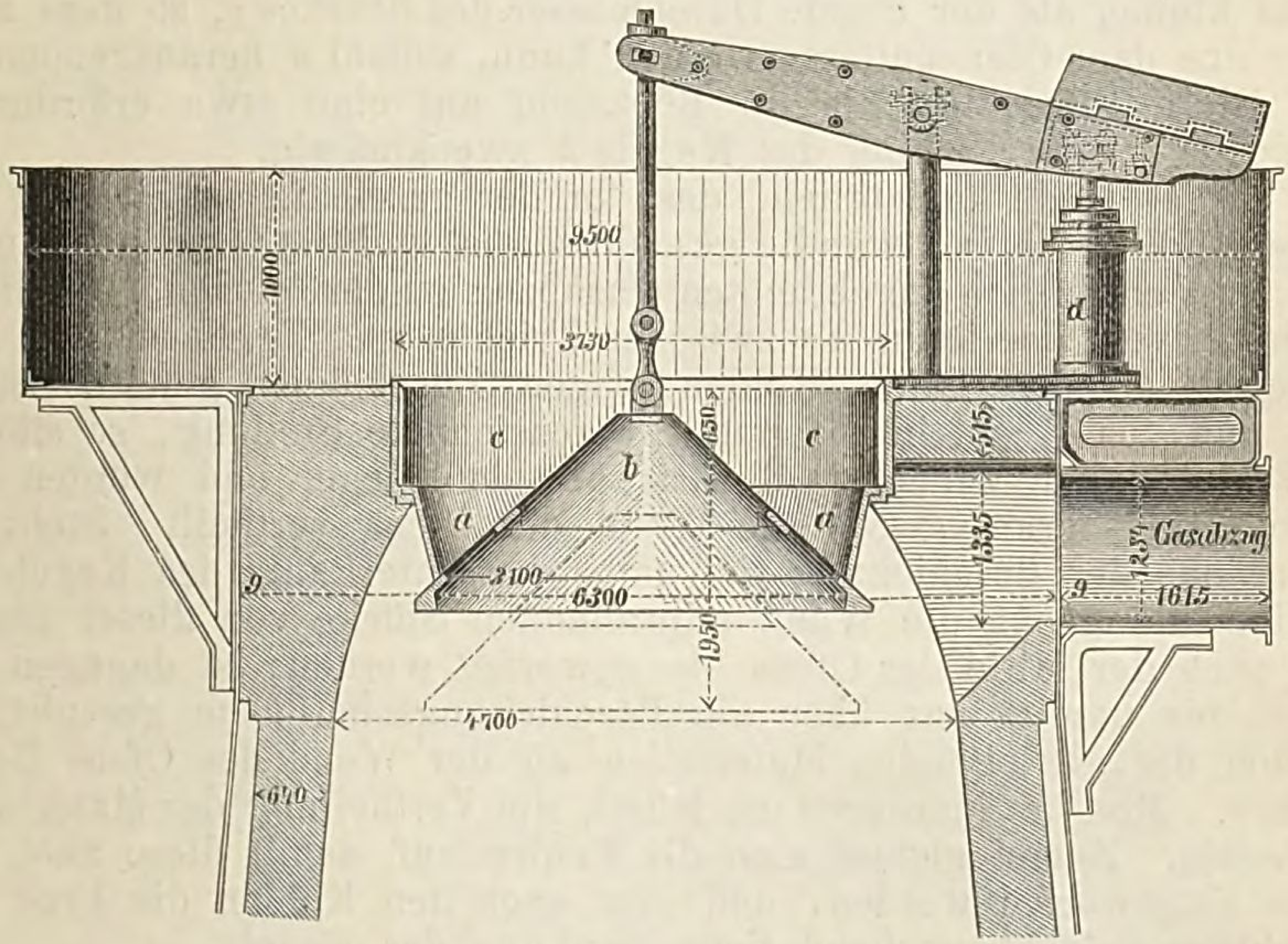
Schmelzmaterialien ausfallen, und desto stärker müssen die letzteren unterhalb des Rohrs nach der Mitte hin sich ausbreiten. Es darf daher ein gewisses Verhältniss zwischen Rohrdurchmesser und Gichtdurchmesser nicht überschritten werden. Gewöhnlich findet man den Rohrdurchmesser annähernd gleich einem Drittel des Gichtdurchmessers oder wenig grösser. Eine weite Gicht ist bei Anwendung eines solchen

Gasfangs von Vortheil, da mit ihr auch der Durchmesser des Rohrs wachsen kann und von der für das Aufgichten bleibenden freien Gichtfläche ohnehin der Querschnitt des letzteren in Abzug kommt.

Jene erwähnte Ausbreitung der Schmelzmaterialien nach der Mitte des Ofens zu, sobald sie unter den Rand des eingehängten Centralrohrs gelangt sind, hat eine für den Schmelzgang im Allgemeinen günstige Auflockerung in der Mitte zur Folge. Unter Umständen jedoch kann jene Ableitung der Gase nach der Mitte hin in so kräftiger Weise sich geltend machen, dass am Umfange des Ofens eine zu geringe Menge aufsteigt und der Ofen mithin an dem entgegengesetzten Uebel als bei Anwendung des Pfortschen Gasfangs leidet.

Zur Vermeidung dieser Gefahr und zur vollständigeren Entziehung der Gase hat man bisweilen beide Gasfänge gemeinschaftlich an einem

Fig. 108.



und demselben Ofen angebracht und die entzogenen Gase dann später in derselben Leitung vereinigt. Eine solche Anordnung findet sich z. B. bei dem in Fig. 86—88 auf Seite 371, 372 abgebildeten Hochofen und wird ohne besondere Erläuterung verständlich sein.

Die Abbildung Figur 88 zeigt zugleich die Anwendung eines Gichtverschlusses bei Gasfängen der beschriebenen Art. Er besteht aus einem Deckel aus Eisenblech, dessen inneren Rand man gewöhnlich in eine mit Wasser gefüllte, an dem mittleren Rohre befestigte Rinne eintauchen lässt, um dichten Abschluss zu erzielen. Der Deckel hängt in Ketten (welche in der Abbildung nicht sichtbar sind) und wird mit Hülfe von Gegengewichten oder eines Hebelwerks gehoben.

Parrys Gasfang. Diese auch unter der Bezeichnung Parryscher Trichter bekannte Vorrichtung ist in Fig. 108 abgebildet. Auch

der Hochofen Fig. 90 besitzt einen derartigen Gasfang. Er ist der älteste jener Gasfänge, welche Gichtverschluss und selbstthätige Einschüttvorrichtung besitzen, und wurde von Parry im Jahre 1850 zuerst auf den Ebbw-Vale-Eisenwerken angewendet. Seitdem hat er besonders in Grossbritannien eine häufige Anwendung gefunden; seltener sieht man ihn in dieser ursprünglichen Form auf deutschen Eisenwerken.

Er besteht aus zwei Haupttheilen, dem gusseisernen festliegenden Trichter *a* und dem aus Blech oder Gusseisen gefertigten Kegel *b*, welcher an einer mit Gelenk versehenen Zugstange aufgehängt ist und mit deren Hülfe gehoben und gesenkt werden kann. Den Trichter pflegt man in zwei Stücken zu giessen, deren unteres *a* mit einem Rande in einem Ringe des oberen Stückes *c* aufruht, so dass es ohne Schwierigkeit herausgenommen werden kann, während das Stück *c* fest eingemauert ist. Der grösste Durchmesser des Kegels *b* aber ist etwas kleiner als der engste Durchmesser des Stückes *c*, so dass auch jener aus dem Ofen entfernt werden kann, sobald *a* herausgenommen ist. Diese Einrichtung ist in Rücksicht auf eine etwa erforderlich werdende Auswechselung des Kegels *b* zweckmässig.

Es ist leicht ersichtlich, dass in der gezeichneten Stellung des Kegels *b* die Gicht vollständig geschlossen ist und die Gase gezwungen sind, in den seitlich angebrachten Gasabzug zu entweichen. In dieser Stellung wird der Raum *ac* zwischen Trichter und Kegel mit den aufzugichtenden Materialien (Kohlen, Erzen, Zuschlägen) gefüllt. Senkt man nun den Kegel in die punktirt gezeichnete Stellung, so stürzen jene Materialien zunächst abwärts auf den Kegel und werden von diesem ringsherum gegen die Wand des Ofens vertheilt Steht die Oberfläche der Beschickung tief unter der Unterkante des Kegels, so werden die gegen die Wand anprallenden Stücke von dieser zurück und nach der Mitte des Ofens hin geworfen werden; ist dagegen der Kegel bis unmittelbar über die Beschickungsoberfläche gesenkt, so werden die abgleitenden Materialien an der Wand des Ofens liegen bleiben. Man hat hierdurch ein Mittel, die Vertheilung der Materialien zu regeln. Zuerst gichtet man die Kohlen auf, damit diese nach der Mitte hingeworfen werden, und erst nach den Kohlen die Erze und Zuschläge bei entsprechend tiefer Senkung des Kegels.

Um eine Auflockerung der Schmelzmassen in der Mitte des Ofens zu bewirken, ist bei dem Hochofen Fig. 90 ein Cylinder aus starkem Eisenblech eingehängt, welcher verhindert, dass die eingeschütteten Körper sofort bis zur Mitte vorrollen. Seine Wirkung in dieser Beziehung ist der eines Darbyrohrs (Seite 399) gleich.

Im Uebrigen ist auch die Form des Kegels wie die Grösse der einzelnen Brennstoffgichten (der in einem Male aufgegebenen Brennstoffmengen) für die Vertheilung von Einfluss. Gewöhnlich giebt man dem Kegel eine solche Form, dass seine Seiten einen Winkel von 90 Grad oder wenig darüber einschliessen. Je steiler der Kegel ist, auf eine desto geringere Entfernung werden unter übrigens gleichen Verhältnissen die gegen die Ofenwand anprallenden Körper von dieser zurückgeworfen werden; je grösser aber die Menge der in einem Male aufgegichteten Materialien ist, desto weniger stark wird eine über-

mässige Anhäufung am Rande eintreten können, da die zuletzt hinabstürzenden Körper immerhin auf der concaven Oberfläche der zuerst hineingefallenen und am Rande liegen gebliebenen Materialien nach der Mitte zu rollen werden.

Die Bewegung der Glocke (des Kegels) pflegt durch Anbringung eines Gegengewichts und einer hydraulischen Bremse erleichtert zu werden. Bei dem Gasfange Fig. 108 befindet sich das Gegengewicht auf dem Ende des Hebels, und die Belastung ist so bemessen, dass die Glocke, so lange sie nicht durch aufgeschüttete Materialien belastet ist, ihren höchsten Stand einnimmt, aber sinkt, wenn Belastung stattfindet und sie sich selbst überlassen wird. *d* ist der Bremscylinder, mit Wasser oder einer andern Flüssigkeit (Glycerin) gefüllt. Der Raum über dem Kolben steht mit dem Raume unter dem Kolben durch ein seitlich angebrachtes, in der Abbildung nicht sichtbares Rohr in Verbindung; in diesem Rohre ist ein Hahn eingeschaltet, durch dessen Drehung man die Verbindung sowohl herstellen als unterbrechen kann. In der gezeichneten Stellung der Glocke befindet sich der Kolben des Cylinders unten, darüber steht die Flüssigkeit; ist der Hahn geschlossen, so hält sie den Kolben und somit die Glocke in ihrer Stellung fest. Soll nun der Gichtverschluss geöffnet werden, nachdem zuvor die einzuschüttenden Materialien in den Raum *a* gebracht wurden, so dreht man den Hahn; das Gewicht der aufzugichtenden Körper drückt die Glocke nieder, der Kolben im Cylinder *d* steigt und das Wasser über dem Kolben tritt unter den Kolben. Ist das Einschütten beendet, so geht die nunmehr entlastete Glocke wieder aufwärts und das Wasser tritt wieder unter den Kolben, sofern man nicht etwa den Hahn inzwischen geschlossen hat.[1])

Ganz ähnlich ist die Einrichtung bei dem Gasfange des Hochofens Fig. 90.

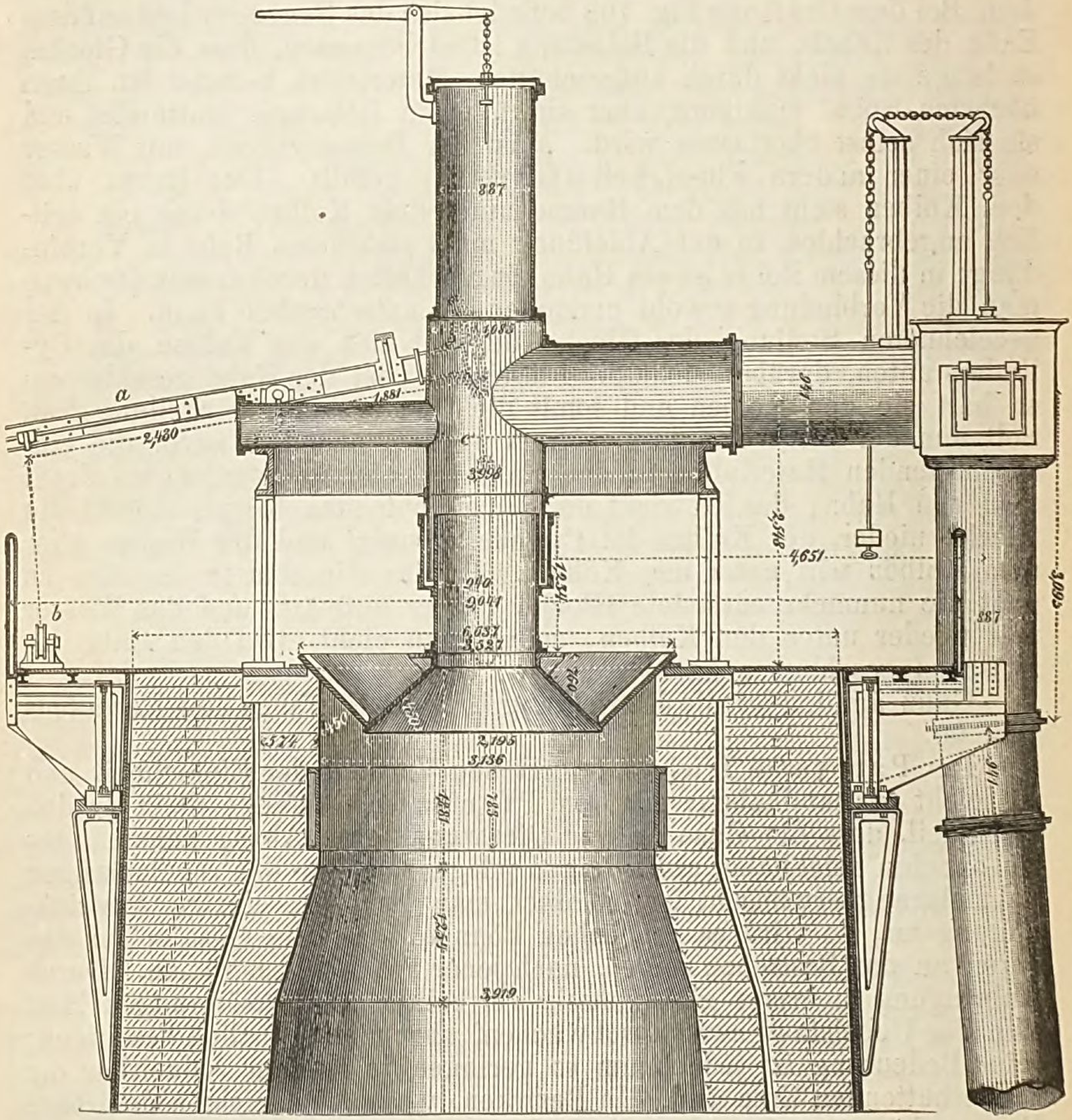
Der Parrysche Trichter besitzt den Vortheil der Einfachheit und ist leicht zu handhaben; mit dem Pfortschen Gasfange theilt er den Nachtheil, dass die Gase an der Ofenwand ihren Abzug nehmen, wo sie ohnehin reichlicher aufzusteigen pflegen, als für den regelmässigen Schmelzgang erwünscht ist. Ordnet man nur eine einzige Austrittsöffnung an, so wird es geschehen können, dass die Gase schon von unten an das Bestreben zeigen, nach jener Stelle hinzuströmen. Durch Anbringung mehrerer gleichmässig vertheilter Austrittsöffnungen lässt sich der Uebelstand zwar abschwächen, aber nicht gänzlich beseitigen; seine Bedeutung ist jedoch um so geringer, je leichter reducirbar die zu verhüttenden Erze sind. In Bezirken, wo solche leicht reducirbare Erze verhüttet werden (Cleveland, Steiermark), bedient man sich daher mit Vorliebe des Parryschen Gasfangs; in anderen Gegenden hat er sich wenig bewährt.

Von Hoffscher Gasfang. In seiner Wirkungsweise beim Aufgichten dem älteren Parryschen Gasfange nachgebildet, verfolgt der von Hoffsche Gasfang das Ziel, durch Ableitung der Gase in der Mitte des Ofens den erwähnten Fehler des ersteren Gasfangs zu ver-

1) Die Einrichtung ist von Wrightson zuerst eingeführt. Vergleiche Journal of the Iron and Steel Institute 1872, II, p. 236.

meiden. Er wurde im Anfange der sechziger Jahre zuerst auf dem Eisenwerk Hörde in Anwendung gebracht und erlangte seitdem besonders auf deutschen Eisenwerken eine ziemlich grosse Verbreitung. Fig. 109 stellt einen von Hoffschen Gasfang aus den siebziger Jahren dar.

Fig. 109.



Die Einrichtung des eigentlichen Trichters ist im Wesentlichen die nämliche wie bei dem Parryschen Gasfange. Der als Verschluss dienende Kegel aber endigt nicht wie bei jenem in einer geschlossenen Spitze, sondern läuft in ein weites, nach oben gerichtetes Rohr aus; an dem oberen Rande dieses Rohrs ist eine ringsherum laufende, tiefe Wasserrinne angebracht, und in diese taucht das untere Ende des eigentlichen Gasableitungsrohrs *c* ein. Der Kegel kann auf diese Weise gesenkt werden, ohne dass seine Verbindung mit dem festliegenden Rohre unterbrochen wird.

Gasfang der Dortmunder Union.

1/80 der wirklichen Grösse.

Fig. 110.

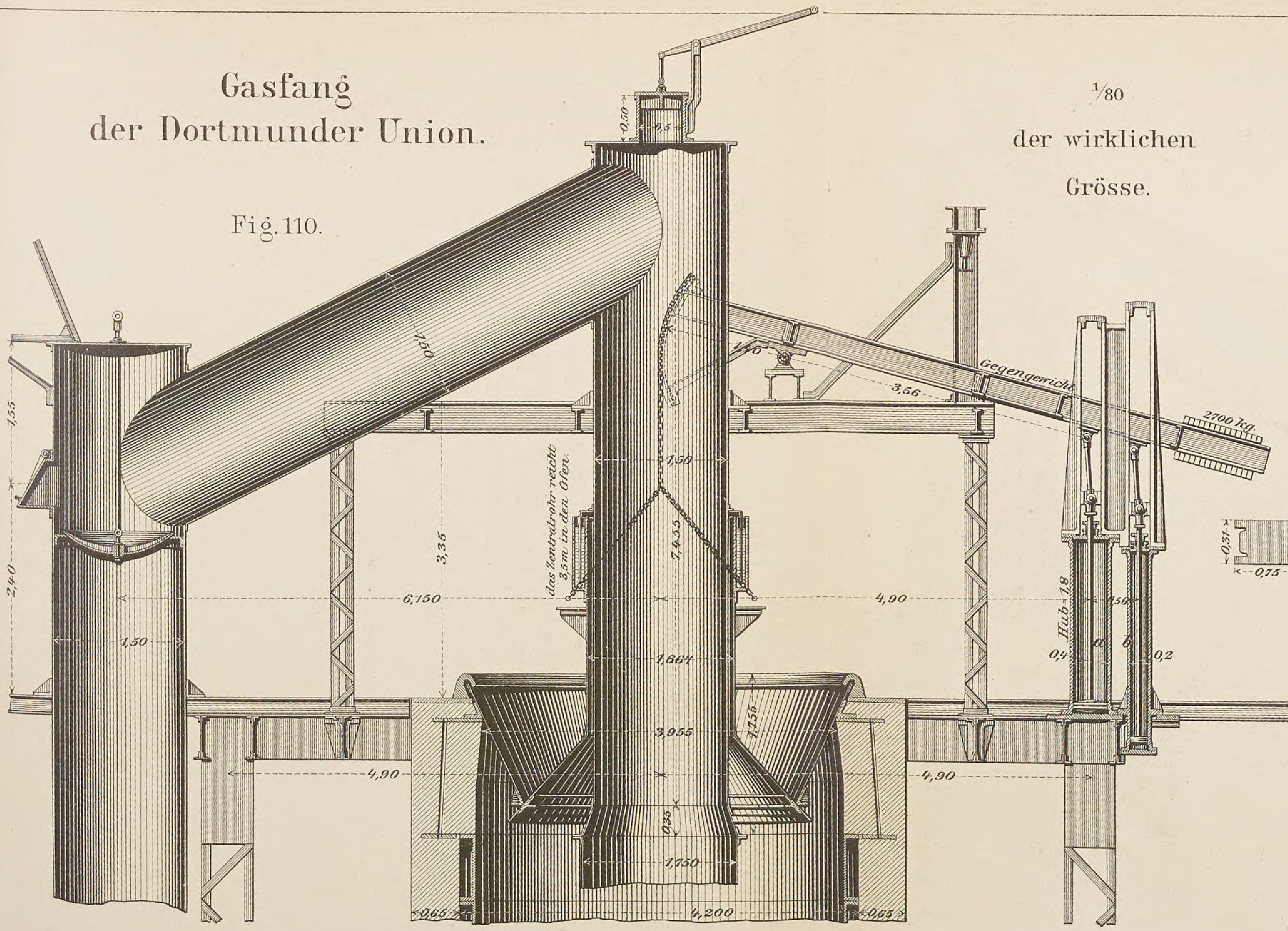
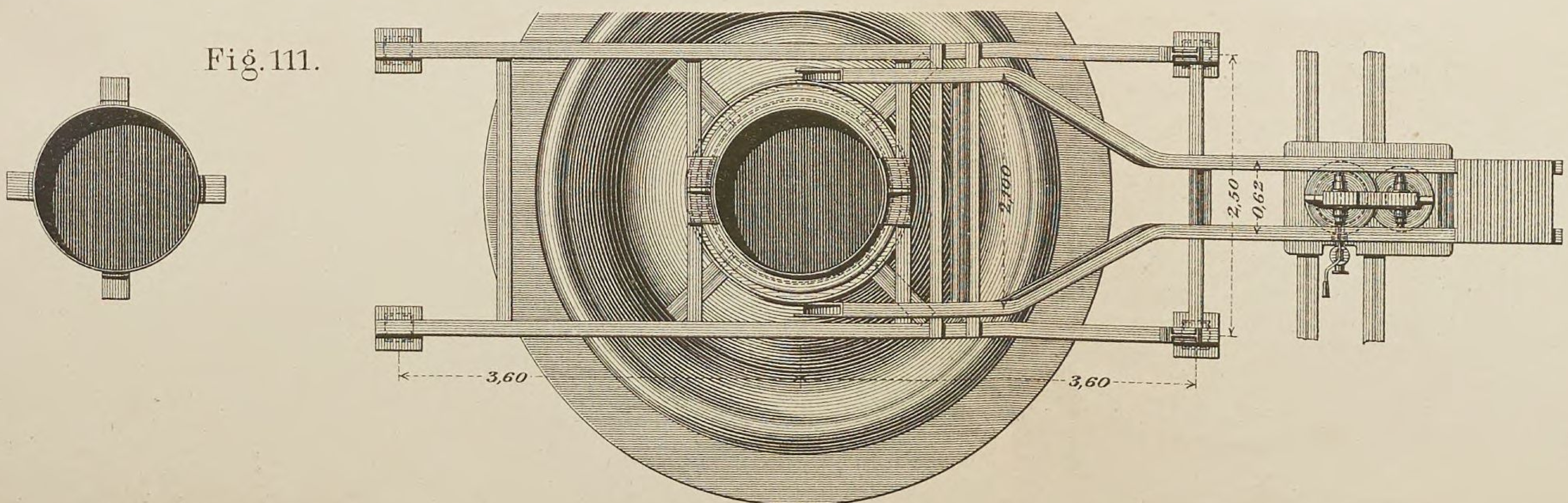


Fig. 111.



Verlag v. Arthur Felix, Leipzig.

Techn. art. Anst. v. Alfr. Müller, Leipzig-R.

Für die Bewegung des Kegels dienen zwei parallele, durch Streben unter einander verbundene eiserne Hebel *a*, welche links und rechts neben dem Rohre *b* vorbeigehen, und an deren Enden Ketten angeschlossen sind, an welchen der Kegel hängt. Mit Hülfe einer Winde *b* kann die Bewegung des Kegels bewirkt werden.

Der etwas unterhalb der Gicht im Innern des Schachts angebrachte Gusseisenkranz ist zum Schutze des Schachtmauerwerks gegen die anprallenden Stücke der Beschickung bestimmt.

Im Laufe der Zeit hat man die ursprüngliche Einrichtung des von Hoffschen Gasfangs in ihren Einzelheiten mehrfach geändert und vervollkommnet. Nicht selten lässt man, zumal bei Hochöfen, welche zur Verhüttung dicht liegender Erze bestimmt sind, bei neueren Anlagen das zur Gasentziehung dienende mittlere Rohr bis in die Gicht einhängen, so dass sein Rand noch unter der Beschickungsoberfläche liegt. Es wirkt demnach genau so, wie das früher beschriebene Darbysche Rohr, trägt zur Auflockerung der Beschickung in der Mitte des Ofenquerschnitts bei und befördert in stärkerem Maasse als die älteren von Hoffschen Gasfänge das Aufsteigen der Gase in der Mitte. Fig. 110 und 111 (Gasfang der Dortmunder Union) zeigen diese Einrichtung. Zum Heben der Glocke dient bei diesem Gasfange der Kolben des Dampfcylinders *a*; der kleinere Cylinder *b* dient als Bremse beim Auf- und Niedergange und ist zu diesem Zwecke mit einem Gemische von Glycerin und Wasser gefüllt, welches durch zwei im Kolben angebrachte Löcher von je 25 mm Durchmesser hindurchzugehen gezwungen wird, sobald der Kolben sich bewegt. Niedergang erfolgt durch das eigene Gewicht, wenn man den Dampf über dem Kolben austreten lässt.

Statt das Entziehungsrohr selbst in die Beschickung eintauchen zu lassen, wie bei dem hier besprochenen Gasfange, hat man sich in anderen Fällen begnügt, zu dem Zwecke der Auflockerung der Beschickung nur einen Cylinder einzuhängen, welcher nicht zur Gasentziehung dient und daher oben offen ist (wie bei dem Gasfange des Ofens Fig. 90). Mitunter hat man die Höhenlage dieses Cylinders auch verstellbar gemacht, um durch den Versuch die geeignetste Stellung ermitteln zu können.[1])

Langens Gasfang, von dem früheren Hüttendirector Langen in Friedrich-Wilhelmshütte bei Troisdorf in den sechziger Jahren erfunden und seitdem bis heute vielfach benutzt. Fig. 112 zeigt die Einrichtung dieses Gasfangs. In die Hochofengicht ist ein Gusseisentrichter *a* eingebaut und in diesem ruht etwas oberhalb des unteren Randes der glockenartige Gichtverschluss *b*. Letzterer besteht aus zwei zusammengefügten Theilen: der inneren Glocke, deren oberer Rand, wie die Abbildung zeigt, in eine Wasserrinne des Gasableitungsrohrs *c* eintaucht, so lange die Gicht geschlossen ist, und einem äusserlich an der Glocke befestigten Blechringe, welcher nach oben sich ein wenig erweitert und noch etwas über die Glocke hinausragt. Zwischen diesem Blechringe und dem festliegenden Trichter *a* werden die zu

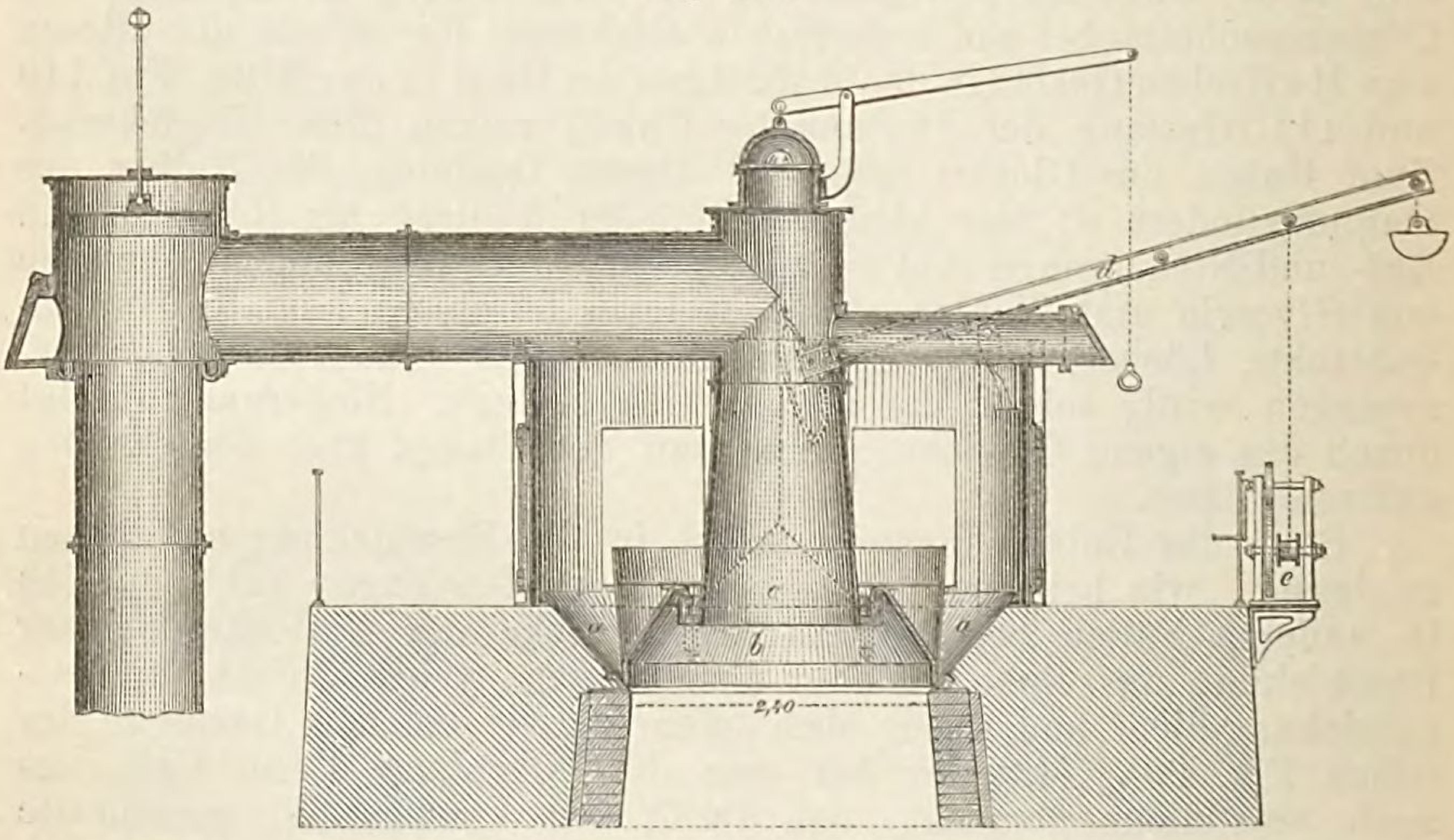
1) Abbildung eines solchen Gasfangs: „Stahl und Eisen“ 1890, Juliheft, Tafel IX.

gichtenden Materialien eingeschüttet; dann wird der ganze Gichtverschluss (Glocke nebst Ring) gehoben, und die Materialien stürzen in die Gicht hinein. Der Zweck des Rings hierbei ist leicht ersichtlich; ohne diesen würden die in den Trichter geschütteten Körper theilweise die Glocke bedecken und deren Anheben wesentlich erschweren.

Die Bewegung des Langenschen Gichtverschlusses wird mit Hülfe zweier unter einander verbundener Hebel *d* und einer Winde *e* bewirkt. Alles Uebrige ergiebt die Abbildung von selbst.

Die Wirkung dieser Aufgichtvorrichtung ist etwas anders als beim Parryschen und von Hoffschen Gasfange. Bei den letzteren werden die Materialien beim Hineinstürzen vom Kegel gegen die Ofenwand und von der Ofenwand erst theilweise zurück nach der Mitte des Ofens hin geworfen; bei dem Langenschen Gasfange stürzen sie ohne Weiteres nach der Mitte des Ofens hin und rollen erst, wenn

Fig. 112.



hier sich eine kegelförmige Anhäufung gebildet hat, von dieser seitwärts den Wänden zu. In allen Fällen wird man auch hier die Kohlen zuerst einschütten, damit sie jene Anhäufung in der Mitte bilden, und dann die Erze nachfüllen.

Als ein Vorzug des Langenschen Gasfangs kann es angesehen werden, dass der Ofen bis fast unter die Glocke gefüllt werden kann, während bei dem Parryschen und von Hoffschen Gasfange immerhin der zum Senken des Kegels erforderliche Raum bleiben muss. Ausserdem bleibt die Oberfläche der Beschickung bei dem Langenschen Gasfange von aussen her in gewissem Maasse zugänglich, sobald die Glocke gehoben ist, während sie bei den anderen beiden Vorrichtungen durch den Kegel der Beobachtung entzogen ist, ein Umstand, der wenigstens in einzelnen Fällen für den Langenschen Gasfang sprechen kann.

Der Langensche Gasfang ist noch genau in der Weise, wie die Abbildung zeigt, vielfach in Benutzung. Andernorts hat man, ver-

anlasst durch die Eigenthümlichkeiten der Beschickung, mehrfache Aenderungen vorgenommen. Hier und da hat man, wie bei dem in Fig. 110 abgebildeten geänderten von Hoffschen Gasfange, das Gasentziehungsrohr bis in die Gicht eintauchen lassen; oder man hat auch wohl in der Besorgniss, dass durch diese Einrichtung ein allzu starkes Hinströmen der Gase nach der Mitte des Ofens herbeigeführt werden könne, ausser dem einhängenden Centralrohre noch ein Ringrohr nach Pforts Einrichtung angebracht, so dass nunmehr nur ein Theil der Gase in der Mitte, ein anderer Theil an den Wänden abzieht (Aplerbecker Hütte). Die Einrichtung der Gasentziehung ist in letzterem Falle genau so wie bei dem in Fig. 88 (Seite 372) abgebildeten Ofen; die Einrichtung im Ganzen unterscheidet sich von letzterer durch die Anwendung der Langenschen Glocke mit selbstthätiger Aufgichtvorrichtung, während der früher beschriebene Ofen nur mit Gichtdeckel versehen ist.

Der Langensche Gasfang ist neben dem von Hoffschen auf deutschen Hochofenwerken am häufigsten in Benutzung; auf grossbritannischen, nordamerikanischen, österreichischen Werken findet man häufiger den Parryschen. Die Nachtheile des letzteren bei Verhüttung schwer reducirbarer Erze sind bereits erwähnt worden. Ob der von Hoffsche oder der Langensche den Vorzug verdiene, hängt zum Theil von der Beschaffenheit der Beschickung ab. Die Lagerung der einstürzenden Materialien gestaltet sich bei der einen dieser Vorrichtungen etwas anders als bei der zweiten; erst die Erfahrung wird häufig entscheiden müssen, im welchem Falle der günstigere Schmelzgang erzielt werde. Auch die Menge der mit einem Male aufgegichteten Materialien, der Winkel, unter welchem diese in den Ofen stürzen, und andere Nebenumstände sprechen hierbei mit.

Bei Oefen, welche zinkische Erze verarbeiten und in welchen sich demzufolge zinkhaltige Ansätze unterhalb der Gicht, sogenannter Gichtschwamm[1]), zu bilden pflegen, haben der Parrysche und von Hoffsche Trichter sich mitunter als ungeeignet aus dem Grunde erwiesen, weil durch die gegen die Ofenwand anprallenden Materialien der Gichtschwamm losgestossen wurde, hierbei unter die Ofenbeschickung gelangte und den Ofengang verschlechterte.

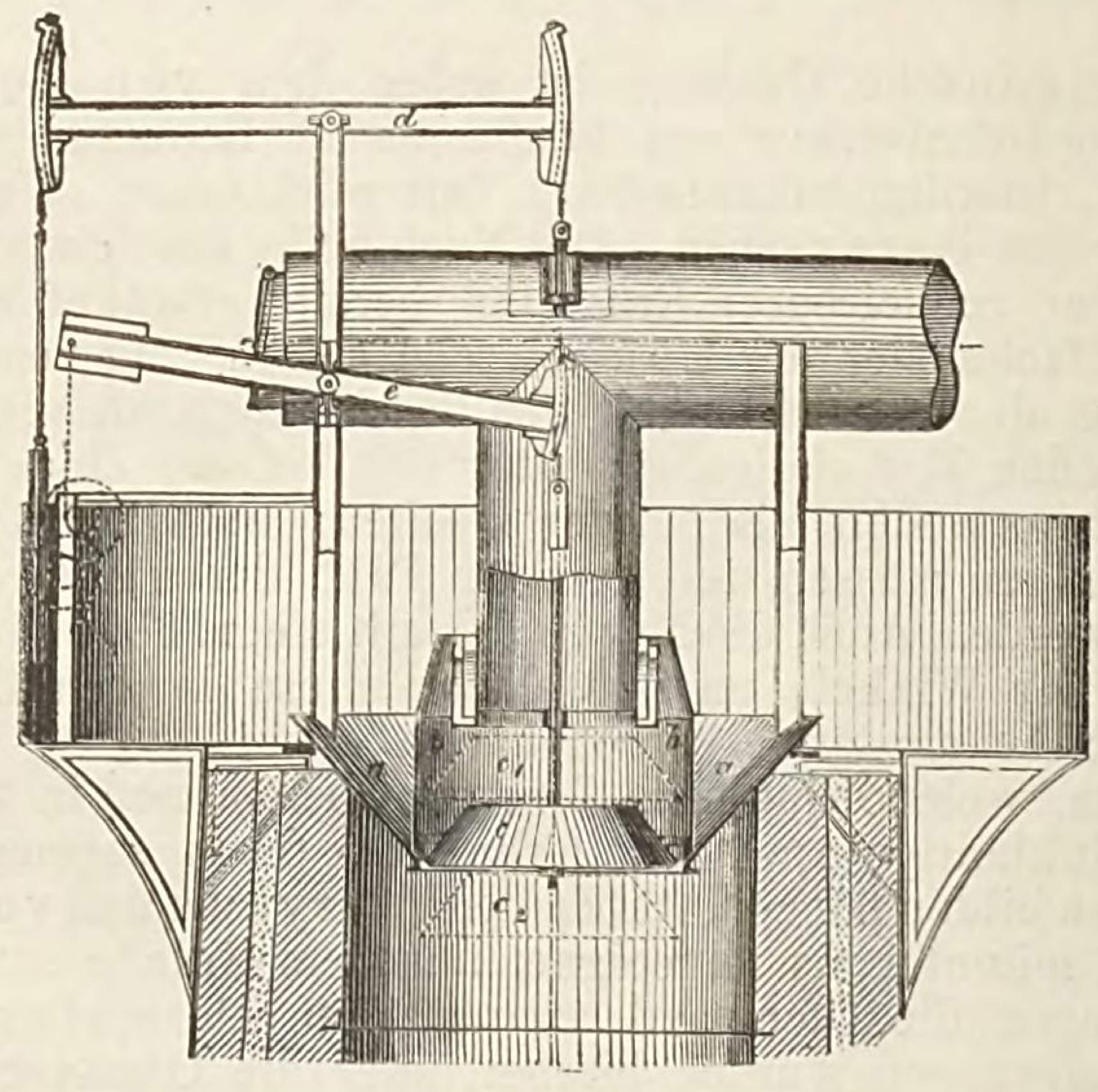
Buderus' Gasfang. Ziemlich gross ist die Zahl solcher Formen von Gasfängen, bei welchen man das Ziel im Auge hatte, durch besondere Einrichtungen eine noch grössere Gewähr für die regelrechte Vertheilung der einstürzenden Schmelzmaterialien als bei den bisher besprochenen Gasfängen zu erlangen. Eine sehr ausgebreitete Benutzung hat allerdings kein einziger dieser Gasfänge gefunden; bei manchen ist die Anwendung auf ein einziges Werk beschränkt geblieben. Sie sind weniger einfach als die bisher besprochenen, und nicht immer mögen sie die zuvor gehegten Erwartungen voll erfüllt haben.

Als ein Beispiel solcher Gasfänge möge der von G. Buderus erfundene, seit 1874 bei den Hochöfen der Main-Weserhütte und der Sophienhütte, ausserdem auf einigen Werken des Siegerlands und Saargebiets eingeführte Gasfang dienen, welcher in Fig. 113 abge-

1) Vergleiche Seite 309; ferner unten: Nebenerzeugnisse des Hochofenbetriebes.

bildet ist. Er kann als eine Vereinigung des von Hoffschen und Langenschen Gasfangs betrachtet werden. *bb* ist die der Langenschen Vorrichtung entnommene Gichtglocke, *c* der Kegel des von Hoffschen Gasfangs, jedoch von diesem dadurch unterschieden, dass er nicht unter den Rand des Trichters *a* greift, sondern einen etwas kleineren Durchmesser als dieser besitzt und daher durch die untere Oeffnung des Trichters hindurch bewegt werden kann. Er hängt an einer eisernen Stange, welche in der Mitte des senkrechten Gasableitungsrohrs befindlich ist, oben herausragt und an einem Hebel *d* befestigt ist, mit dessen Hülfe die Bewegung erfolgt; ein Paar Hebel *e* dienen ausserdem, wie bei dem Langenschen Gasfange, zum Heben und Senken der Glocke *b*.

Fig. 113.



Soll die Beschickung, welche in den Trichter geschüttet ist, in die Mitte des Ofens fallen, so wird zunächst der Kegel *c* aufwärts in die durch Punkte bezeichnete Stellung c_1 bewegt und dann die Gichtglocke gehoben; die Vorrichtung wirkt dann genau wie ein Langenscher Gasfang. Soll die Beschickung an den Umfang geworfen werden, so senkt man den Kegel in die Stellung c_2; die Beschickung stürzt auf den Kegel und von diesem gegen die Ofenwand.[1])

1) Sonstige Vorrichtungen dieser Art, welche jedoch zum Theil nur vorgeschlagen wurden, sind unter anderen: Navays Gasfang; Kerpely, das Eisen auf der Wiener Weltausstellung, Taf. IV, Fig. 8; Kerl, Grundriss der Eisenhüttenkunde, Seite 123, Fig. 153; Coingts Gasfang, Berg- u. hüttenm. Ztg. 1857, Seite 350; 1864, Seite 258, 287, 288; Sattlers Gasfang, D. R. P. Nr. 1826; Schlinks Gichtverschluss, „Stahl und Eisen" 1887, Seite 621; Beschickungsvorrichtung zu Anina, „Stahl und Eisen" 1889, Seite 992. Abbildungen zahlreicher älterer und neuerer Gasfänge findet der Leser in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1884, Seite 969.

Die Leitungsrohre und Reinigungsvorrichtungen.

Für die Herstellung der Leitungsrohre pflegt man Eisenblech zu benutzen, und man giebt ihnen bei kleineren Holzkohlenhochöfen Durchmesser von 0,3—0,5 m, bei grösseren mit Koks betriebenen Hochöfen 1,5—2,5 m und mitunter darüber.

Die Geschwindigkeit der Gase in einer Leitung von gegebenem Durchmesser lässt sich aus dem Brennstoffverbrauche des Ofens und der Temperatur der Gase annähernd berechnen, indem man annimmt, dass für je 1 kg verbrauchten Brennstoffs im Hochofen 4,5 cbm Gichtgase von Null Grad Temperatur erfolgen, welche nach der Formel $v_1 = v\ (1 + 0{,}00366\ t)$ ihren räumlichen Inhalt vergrössern.[1]) In der Formel bezeichnet v_1 den Rauminhalt der heissen Gase, v den Rauminhalt bei gewöhnlicher Temperatur, t die Temperatur, welche beim Beginne der Leitung oft mehrere Hundert Grade beträgt.

Eine erheblich grössere Geschwindigkeit der Gase als 3 m in der Secunde ist nicht erwünscht; mitunter freilich bewegen sich die Gase mit einer Geschwindigkeit von 6 m und darüber.[2])

Bei dem Betriebe mehrerer Hochöfen lassen sich die sämmtlichen Gase in einem gemeinschaftlichen Sammelrohre vereinigen.

Bei Oefen mit geschlossener Gicht ist die Anbringung einer Vorrichtung zweckmässig, welche die Entlassung eines etwaigen Gasüberschusses ermöglicht, falls aus irgend einem Grunde eine augenblickliche Verwendung dafür fehlt. Sie besteht am einfachsten aus einer Haube auf der höchsten Stelle des Entziehungsrohrs, welche durch Hebel und Kette geöffnet werden kann. Die Abbildungen Fig. 109 bis 112 lassen diese Einrichtung erkennen.

Nothwendig bei allen Gasfängen, welche die Gase oberhalb der Beschickungssäule entziehen, und zweckmässig auch bei den übrigen ist ferner die Anordnung einer Absperrvorrichtung in der Leitung nahe der Gicht, damit man die Leitung schliessen und hierdurch das Eintreten äusserer Luft verhindern kann, während die Gicht geöffnet ist. Ein einfaches Ventil erfüllt am besten diesen Zweck. In Fig. 110 und in Fig. 112 sieht man dieses Absperrventil am obern Ende des links befindlichen abwärts führenden Rohrs. Häufig verbindet man durch eine über Rollen geführte Kette die Ventilstange mit den Hebeln, welche zur Bewegung der Gichtglocke dienen, derartig, dass das Ventil selbstthätig geschlossen wird, wenn man den Gichtverschluss öffnet, und umgekehrt. Damit die Gase nun, so lange die Leitung abgesperrt ist, nicht sämmtlich aus der geöffneten Gicht entweichen und den Arbeitern

1) Steffen giebt an, dass bei gaarem Gange des Hochofens und 40 bis 45 Hunderttheilen Ausbringen das Gesammtgewicht der erfolgenden Gase das $5^1/_2$fache vom Gewichte der Koks betrage, was bei dem Rauminhalte eines Kilogramms = 0,75 cbm eine Gesammtmenge von 4,3 cbm ergeben würde („Stahl und Eisen“ 1883, Seite 70; 1887, Seite 307); Osann berechnet theoretisch die Gichtgasmenge für 127 kg verbrauchter Koks zu 553 cbm, also für je 1 kg Koks ebenfalls zu 4,3 cbm („Stahl und Eisen“ 1888, Seite 592). Gredt fand durch Messung 5,4 cbm Gas für je 1 kg verbrannter Koks („Stahl und Eisen“ 1890, Seite 591). Der geringe Ueberdruck, unter welchem die Gase in der Leitung stehen, kann bei der Berechnung für den hier in Rede stehenden Zweck vernachlässigt werden.

2) Beispiel: „Stahl und Eisen“ 1883, Seite 70.

den Aufenthalt hier erschweren, pflegt man jene oben erwähnte Haube auf dem Scheitel des Entziehungsrohrs während dieser Zeit zu öffnen, so dass die Gase hier austreten können.

Ebensolche oder ähnliche Absperrvorrichtungen werden in die Leitung an den Stellen eingeschaltet, wo Abzweigungen sich befinden. Mitunter benutzt man auch Drosselklappen hierfür; seltener Schieber, deren Bewegung leicht durch abgelagerten Staub erschwert wird.

Sämmtliche Gichtgase führen Wasserdämpfe und Gichtstaub mit, dessen Zusammensetzung und sonstige Beschaffenheit bei Besprechung der Nebenerzeugnisse des Hochofens ausführlichere Erwähnung findet.

Die Menge des Wasserdampfs richtet sich nach dem Wassergehalte der Beschickung und pflegt bei Hochöfen, welche wasserarme Erze verhütten, 5 bis 10 Hunderttheile vom Gesammtgewichte der entweichenden flüchtigen Körper zu betragen, kann aber bei Verhüttung wasserreicher Brauneisenerze auf 20 Hunderttheile und darüber steigen. Die Menge des Gichtstaubs ist von der Zusammensetzung der Beschickung und der im Hochofen herrschenden Temperatur abhängig. Er tritt bei stark basischen Beschickungen und hoher Temperatur durchweg reichlicher auf als bei kieselsäurereicheren Beschickungen und weniger hoher Temperatur; 1 cbm Gas pflegt 1 bis 5 g Staub mitzuführen.[1])

Beide Körper, der Wasserdampf wie der Gichtstaub, erniedrigen durch ihre Anwesenheit die Verbrennungstemperatur der Gichtgase, schmälern dadurch die Wärmeausnutzung und können, wo sie in grösseren Mengen auftreten, sogar die Entzündbarkeit der Gase vollständig aufheben. Noch lästiger kann bei Benutzung staubreicher Gase zu Heizzwecken der Umstand werden, dass der Staub in den Feuerzügen (der Dampfkesselfeuerungen, Winderhitzer) sich ablagert und deren Querschnitt verengt.

Es ist mithin von Wichtigkeit, die Gichtgase, ehe sie an den Ort ihrer Verwendung gelangen, so viel als thunlich von Staub und unter Umständen auch von Wasserdampf zu befreien.

Wasserdampf lässt sich dem Gase durch Abkühlung entziehen. Sind die Leitungsröhren ausreichend lang und weit, so vollzieht sich diese Abkühlung von selbst, und man pflegt deshalb von der Anordnung besonderer Verdichtungsvorrichtungen abzusehen. Mitunter jedoch, bei wasserreichen Beschickungen, hat man wohl eine Brause an einer geeigneten Stelle des Leitungsrohrs angebracht, um mit Hülfe eingespritzter Wasserstrahlen eine stärkere Abkühlung des mitgeführten Wasserdampfs hervorzubringen.[2])

Auch Staub lagert sich während der Fortbewegung der Gase in um so reichlicheren Mengen schon in den Leitungsröhren selbst ab, je langsamer die Bewegung der Gase, d. h. je grösser der Durchmesser der Röhren ist.

1) Stöckmann fand bei den Hochöfen des Eisenwerks Phönix etwa 2 g Staub in 1 cbm Gas (Die Gase des Hochofens und der Siemens-Generatoren, Ruhrort 1876, Seite 35); Gredt fand 3 bis 4 g („Stahl und Eisen“ 1890, Seite 591).

2) Je höher die Temperatur der Gichtgase ist, desto mehr Wärme geht durch die Abkühlung verloren. Bei nicht sehr wasserreichen, heissen Gasen kann daher das Mittel unter Umständen eher schädlich als nützlich sein. In solchen Fällen mauert man wohl die Leitungsröhren aus, um Abkühlung zu verhindern (vergl. „Stahl und Eisen“ 1883, Seite 609).

Es ist mithin erforderlich, an den Leitungsröhren Vorkehrungen anzubringen, welche es ermöglichen, von Zeit zu Zeit die abgelagerten Körper und das verdichtete Wasser zu entfernen und, so viel als irgend thunlich, die Ansammlung auf bestimmte Stellen der Leitung zu beschränken.

An den Enden der Leitungsrohre, sowohl der wagerechten, als senkrechten oder geneigten, bringt man leicht zu öffnende Verschlussklappen an, welche die Entfernung des Staubs gestatten, nachdem das Gas abgesperrt worden ist. Bei den Abbildungen Fig. 86 auf Seite 371, Fig. 107 auf Seite 400, Fig. 109 auf Seite 404, Fig. 112 auf Seite 406 sind solche Reinigungverschlüsse erkennbar. Die Verschlussklappe selbst besteht aus Gusseisen, dreht sich in einem Gelenk und liegt, wenn sie sich am oberen Ende eines senkrechten Rohrs befindet, wagerecht auf der entsprechenden, mit gusseisernem, abgedrehtem oder glatt gehobeltem Borde versehenen Oeffnung auf; an dem Ende wagerechter oder geneigter Röhren giebt man, wie aus den Abbildungen zu ersehen ist, den Klappen eine etwas schräge Lage, so dass sie von selbst auf der zugehörigen Oeffnung aufliegen und eine andere Befestigung oder Verdichtung, als etwa ein Verstreichen der Fuge mit Lehm, nicht erforderlich ist. In solcher Anordnung erfüllen sie zugleich den andern Zweck, als Sicherheitsvorrichtung bei vorkommenden Explosionen in der Gasleitung zu dienen; sie werden dann durch die Explosion geöffnet und fallen von selbst wieder zu, sobald diese vorbei ist.

Fig. 114.

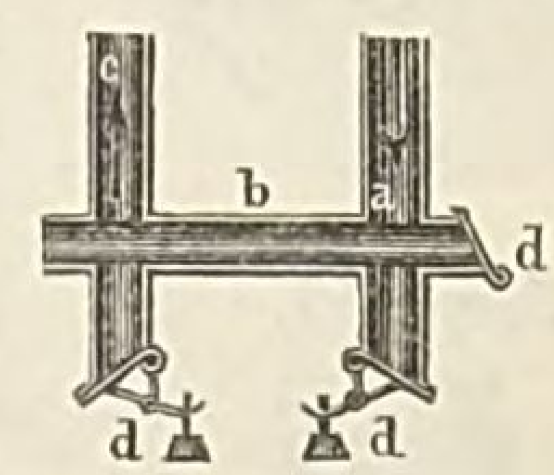
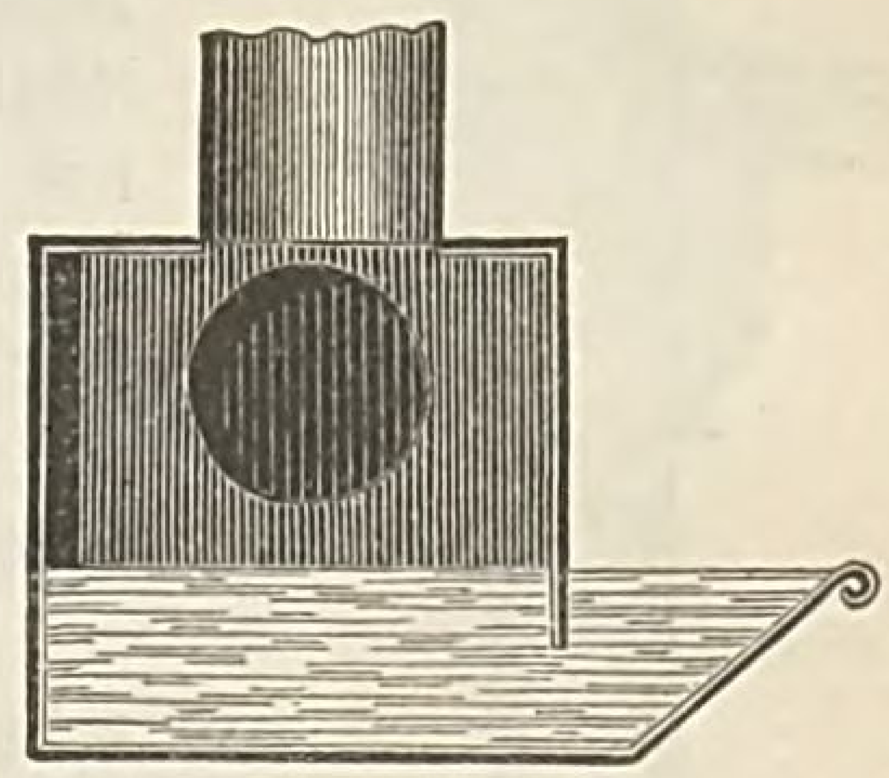


Fig. 115.



Auch an dem unteren Ende senkrechter Röhren lässt sich mit Hülfe eines Hebels und Gegengewichts ein solcher selbstthätig wirkender Klappenverschluss anbringen. Die Skizze Fig. 114 zeigt diese an und für sich leicht verständliche Einrichtung. Ist jedoch in den Röhren zugleich Wasserverdichtung zu erwarten[1]), so kann man den gleichen Zweck in noch geeigneterer Weise durch einen Wassserverschluss des unteren Rohrendes erreichen. Bei dem in Fig. 88 auf Seite 372 abgebildeten Hochofen sieht man unten rechts eine derartige Vorrichtung; Fig. 115 zeigt sie im Durchschnitte. In dem Wassergefässe sammelt sich sowohl der in dem Rohre niederfallende Staub als das verdichtete Wasser. Letzteres fliesst von selbst über den vorderen Rand des Gefässes ab, und der Staub kann mit Hülfe einer entsprechend geformten Krücke ebenfalls über diesen Rand hinweg von Zeit zu Zeit entfernt werden, ohne dass eine Absperrung des Gases stattzufinden braucht. Entsteht aber eine Explosion, so drückt diese das Wasser aus dem Behälter heraus, und das verpuffende Gas findet hier leicht einen Ausweg.

1) Wasserverdichtnng kann überhaupt nur eintreten, wenn die Gase unter 100° C. abgekühlt werden; je geringer ihr Wassergehalt ist, desto stärker muss die Abkühlung sein. Enthalten sie beispielsweise 15 Hunderttheile Wasser, so tritt erst bei 70° C. Beginn der Wasserverdichtung ein.

Jene eigentlichen Staubsammler, welche den Zweck haben, die Staubansammlung (oder auch Wasseransammlung) auf bestimmte Stellen der Leitung zu beschränken, bestehen aus weiten Gefässen, gewöhnlich an dem unteren Ende des senkrechten Rohrs, in denen die Gase sehr langsam sich bewegen. Giebt man der Vorrichtung Fig. 115 einen grossen freien Querschnitt oberhalb des Wasserspiegels und zugleich eine grosse Länge in der Achsenrichtung (8—10 m), so dass ein liegendes, vorn offenes Rohr entsteht, durch welches das Gas von dem einen Ende zum andern sich langsam fortbewegt, so bildet sie einen gut geeigneten Staub- und Wassersammler, sofern das Wasser vor dem Gefrieren bewahrt werden kann. Fig. 116 zeigt eine etwas andere Form dieser Vorrichtung, welche man wohl als Lothringischen Reiniger bezeichnet.

Fig. 116.

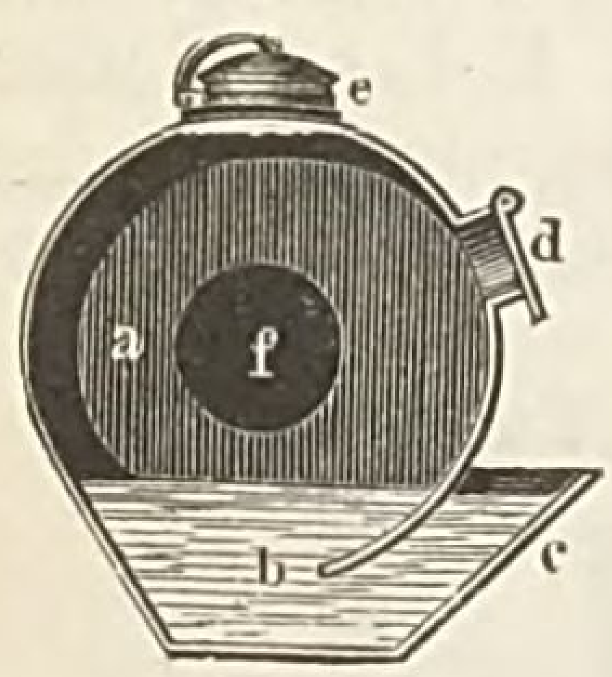
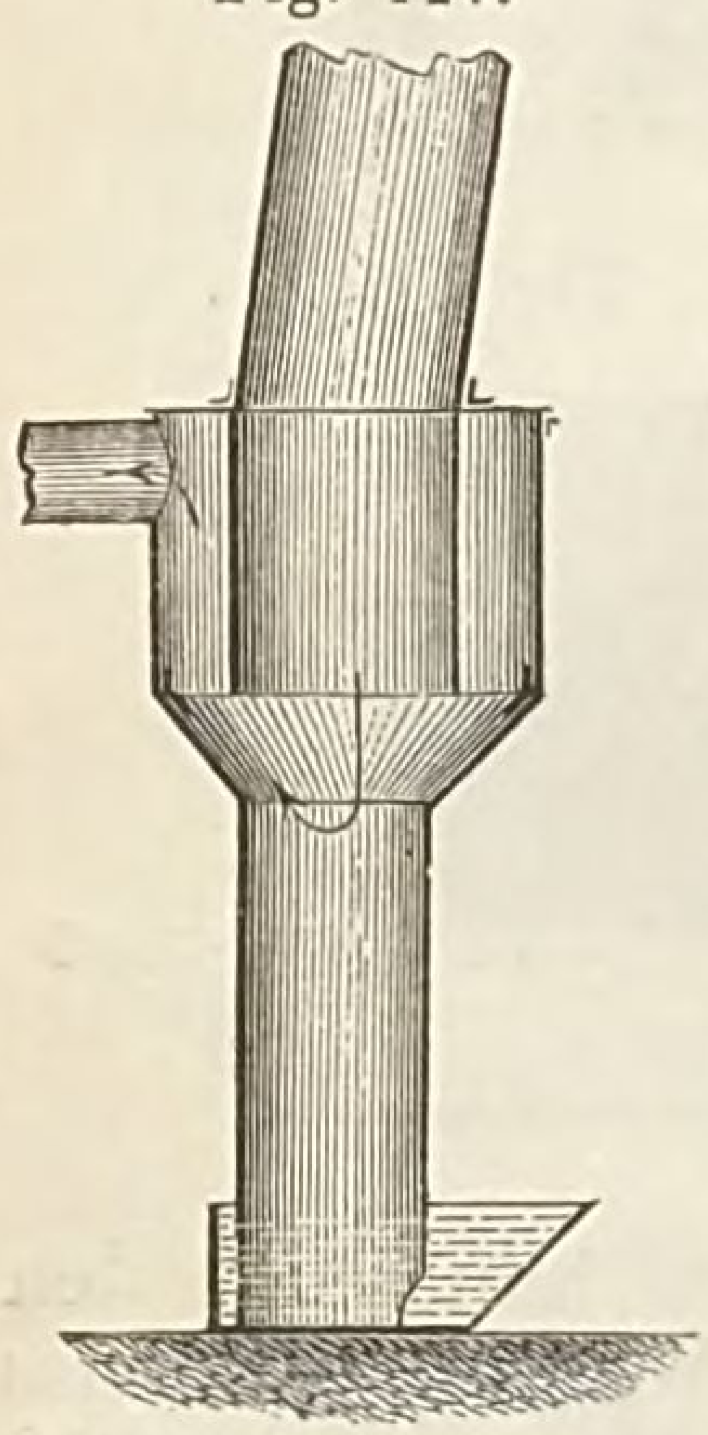


Fig. 117.



Eine noch andere Form eines Staubfangs mit Wasserverschluss, welcher für seine Aufstellung weniger Platz als der zuvor beschriebene erfordert, zeigt Fig. 117. Die Gase ziehen hier, wenn sie aus dem oberen senkrechten Rohre austreten, zunächst vermöge der ihnen inne wohnenden Geschwindigkeit noch um ein gewisses Maass abwärts und wenden sich dann, um an dem oberen Ende des geräumigen, das Rohr umschliessenden Behälters durch ein oder mehrere Abzweigungsrohre ihrem Bestimmungsorte zugeführt zu werden; der schwere Staub aber fällt in den untergestellten Wassertopf, um von hier, wie oben erwähnt, entfernt zu werden. Findet Wasserverdichtung nicht statt, so genügt auch hier eine Verschlussklappe von der oben beschriebenen Einrichtung (Fig. 114) statt des Wassertopfes nicht minder gut dem Zwecke.

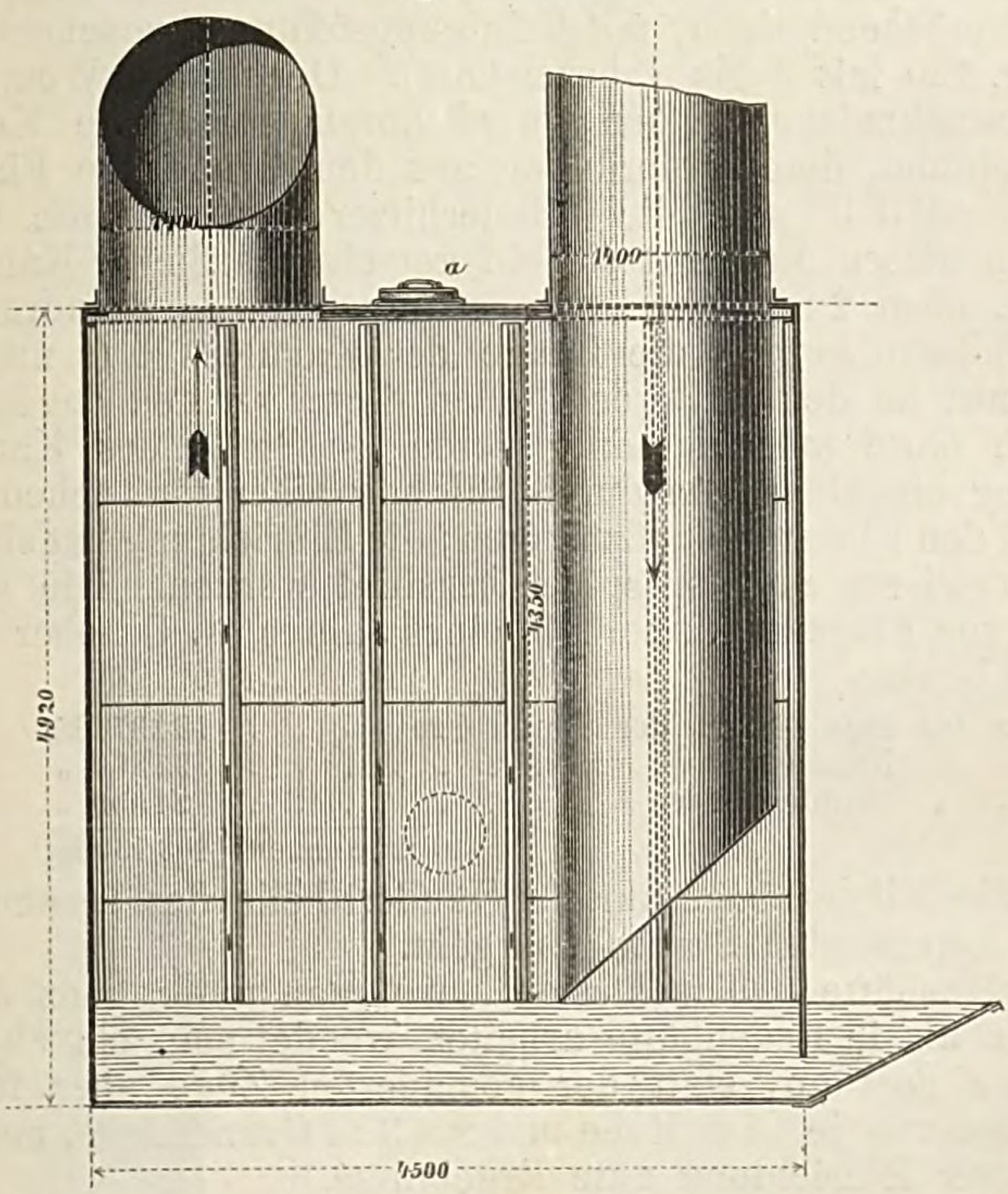
Nicht selten findet man auch grosse prismatische Kästen, aus Gusseisenplatten verschraubt oder aus Eisenblech genietet, als Staubsammler in Anwendung. Die Abbildungen Fig. 118 und 119 zeigen einen solchen Staubsammler eines luxemburger Eisenwerks.[1]) Mitunter schaltet man Scheideplatten ein, um die Gase auf- und abwärts zu führen und ihren Weg zu verlängern; aber ihre Bewegungsgeschwindigkeit wird dann entsprechend beschleunigt. *aa* und *b* sind Sicherheitsklappen, wie oben beschrieben, zugleich den Zugang in's Innere ermöglichend.

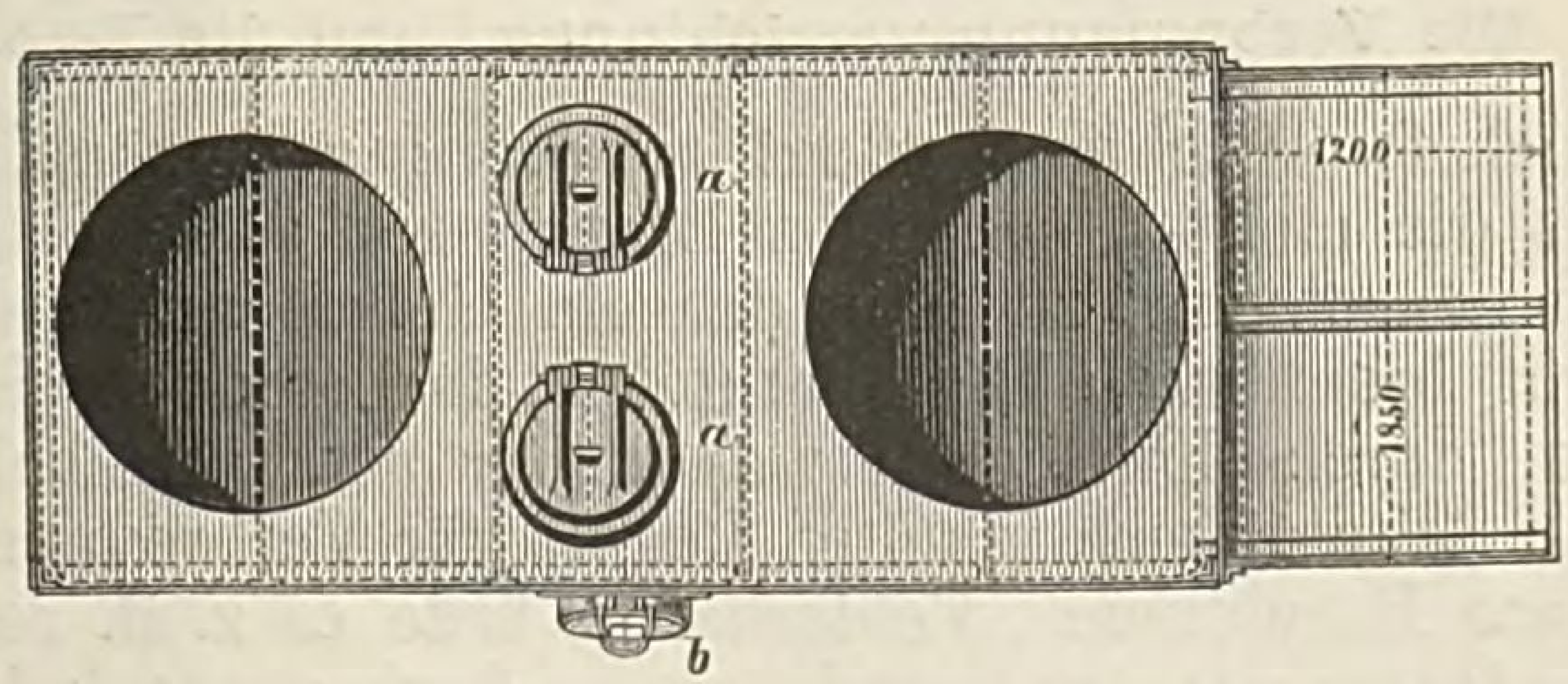
Besondere Wichtigkeit besitzt eine thunlichst umfängliche Reinigung der Gase von Staub, wenn man zinkreiche Erze verhüttet und die erfolgenden Hochofengase für Heizung steinerner Winderhitzer verwenden will. Der Zinkgehalt jener Erze findet sich alsdann zum grossen Theile als fein vertheiltes Zinkoxyd — Zinkstaub genannt —, theilweise auch noch als metallisches Zink in den Gasen wieder; dieser Zinkstaub verstopft nicht allein, wie der Gichtstaub überhaupt,

1) Aus „Stahl und Eisen“ 1890, Taf. XI.

die Feuerkanäle, sondern greift in Weissgluth die feuerfesten Ziegeln stark an, mit welchen er in Berührung tritt, und kann, wenn er vom Gebläsewinde in den Ofen zurückgeführt wird, hier Störungen des regelrechten Schmelzgangs hervorrufen. Eine für derartige Verhältnisse gebaute Reinigungsanlage ist in Fig. 120 und 121 dargestellt.[1])

Fig. 118 und 119.





Das Gasentziehungsrohr des Hochofens ist mit einem Aufsatze *A* von grossem Durchmesser versehen, in welchem bereits die gröberen Be-

1) Anlage zu Redenhütte in Oberschlesien, gebaut durch H. Macco („Stahl und Eisen" 1886, Seite 532). Der Grundriss in Fig. 121 weicht von dem in „Stahl und Eisen" gegebenen Grundrisse etwas ab und entspricht der später eingeführten Anordnung. Fig. 121 ist in der halben Grösse als Fig. 120 gezeichnet.

standtheile des Staubes ihre Fortbewegung einstellen; sie fallen in die Gicht zurück. Hier theilen sich die Gase, um durch zwei kurze wagerechte Leitungen in zwei bis zum Erdboden reichende Doppelstandrohre *R* einzutreten, deren Einrichtung durch Fig. 120 veranschaulicht ist. Die Gase bewegen sich hier mit einer Geschwindigkeit von ungefähr 1,5 m in der Secunde abwärts, wobei sie fünfmal ihre Richtung ändern müssen; unterhalb jeder Krümmungsstelle befindet sich ein entsprechend tiefer, mit Reinigungsöffnung versehener Staubsack (in Fig. 120 mit *I* bis *V* bezeichnet). Der fernere Weg, welchen die Gase zurückzulegen haben, wird durch gemauerte Kanäle im Erdboden gebildet, deren Anordnung aus dem Grundrisse Fig. 121 zu ersehen ist. *WWW* sind die Winderhitzer, welchen die Gase zuströmen; von diesen aus führt sie ein gemeinschaftlicher Kanal zu der 70 m hohen, oben 2 m weiten Esse. Zwischen den Standrohren und den Winderhitzern beträgt die Länge der Kanäle 180 m und 206 m; ihr Querschnitt an den weiteren Stellen 4 qm, an den engeren 2 qm. Ursprünglich hatte man an einer verengten Stelle des Kanals eine Wasserleitung eingelegt, um durch Bildung einer förmlichen Wasserscheidewand den Flugstaub aufzufangen; die Einrichtung hat sich jedoch als nutzlos erwiesen und ist später beseitigt worden. Die gesammte Ablagerung von Flugstaub innerhalb eines Jahres (1. Oktober 1891 bis dahin 1892) betrug

in den Staubsäcken der Standrohre	184 370 kg
„ „ Kanälen	195 360 „
„ „ Winderhitzern	24 000 „
zusammen:	403 730 kg

so dass in die Winderhitzer nur 5,9 Hunderttheile des gesammten zur Ablagerung kommenden Staubs übergeht.

In Friedenshütte (Oberschlesien), wo man unter ganz ähnlichen Verhältnissen als in Redenhütte arbeitet, wendet man ein ebensolches Standrohr als dort an, statt der gemauerten Züge aber fünf zweitheilige Kasten von je 14 m Höhe und 2 × 3 m Grundfläche, und erlangt auch bei dieser Einrichtung gute Ergebnisse.[1])

Die Verbrennungsvorrichtungen und die Esse.

Das Hochofen-Gichtgas pflegt schwieriger entzündlich und verbrennbar als die meisten sonstigen Brenngase, auch als Luftgas von guter Zusammensetzung, zu sein, da sein Gehalt an verdünnend wirkenden, nicht brennbaren Bestandtheilen, insbesondere Stickstoff und Kohlensäure, durchschnittlich etwas höher ist. Deshalb verdienen alle jene auf Seite 43 entwickelten Regeln für Verbrennung von Gasen hier besondere Beachtung. Fehlerhaft würde es z. B. sein, die Vereinigung des Gases mit der Luft in einem Raume stattfinden zu lassen, in welchem das Gemisch der Berührung mit verhältnissmässig kalt bleibenden Gegenständen (Dampfkesseln, eisernen Windheizröhren) preisgegeben ist. Soll das Gas zur Erhitzung derartiger Theile benutzt werden, so ist es erforderlich, vor dem eigentlichen Heizraume eine aus feuerfesten Ziegeln gebaute Verbrennungskammer einzuschalten,

1) „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 920.

Gichtgas-Reinigung
in Oberschlesien.

Fig. 120. Aufriss.

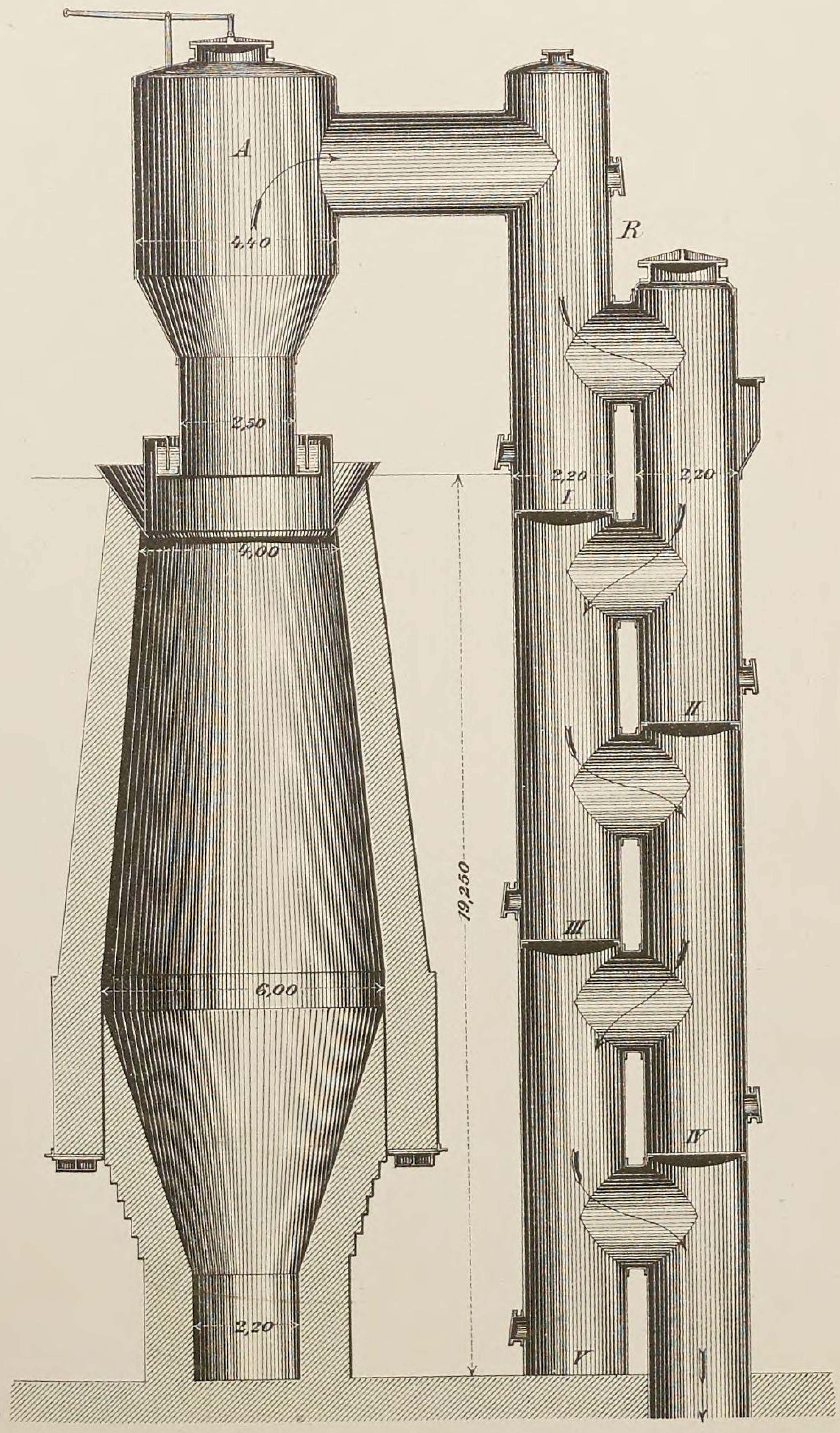
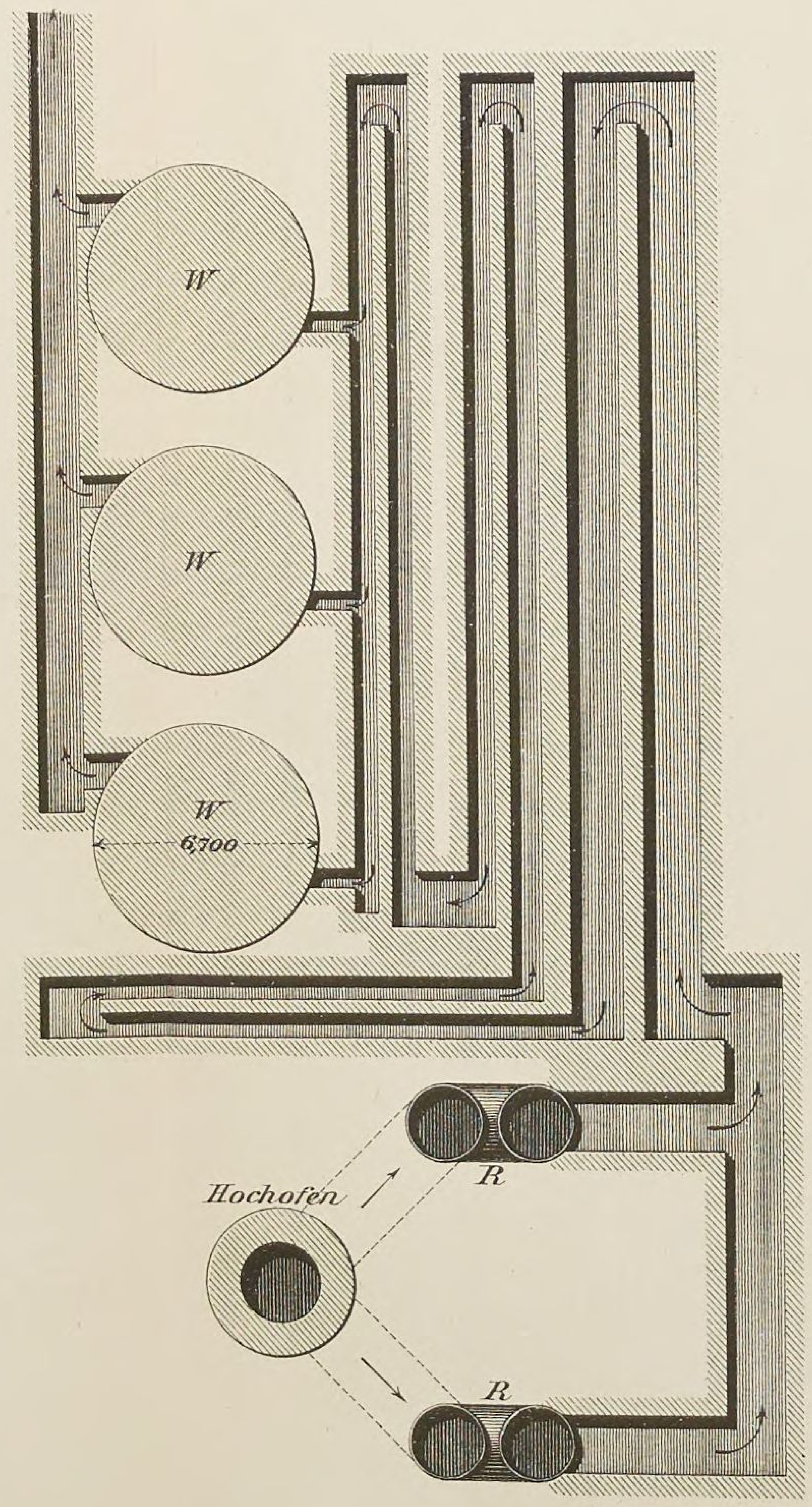


Fig. 121
Grundriss
der ganzen Anlage.



Verlag v. Arthur Felix, Leipzig.

Techn. art. Anst. v. Alfr. Müller, Leipzig-R.

Fig. 122.

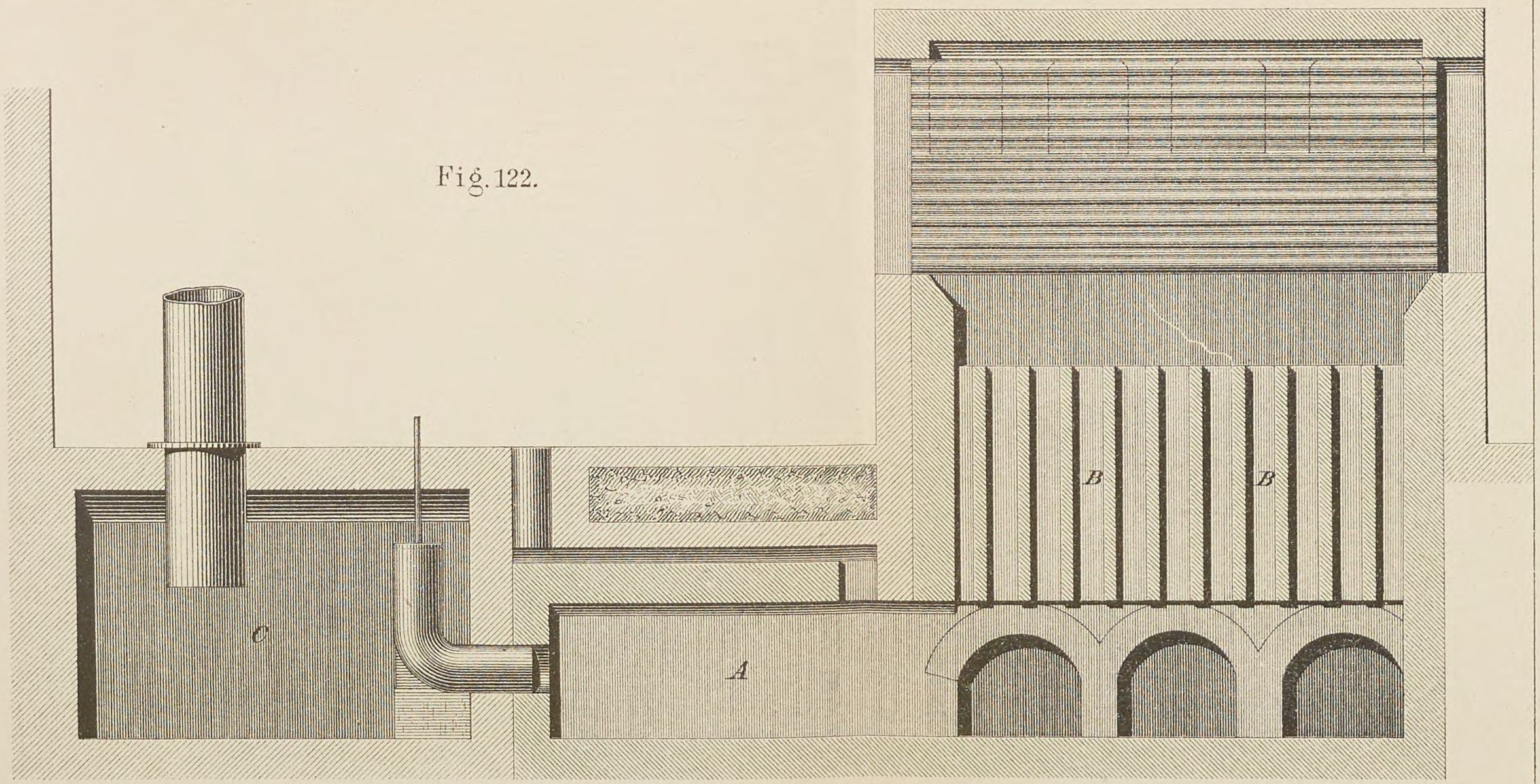
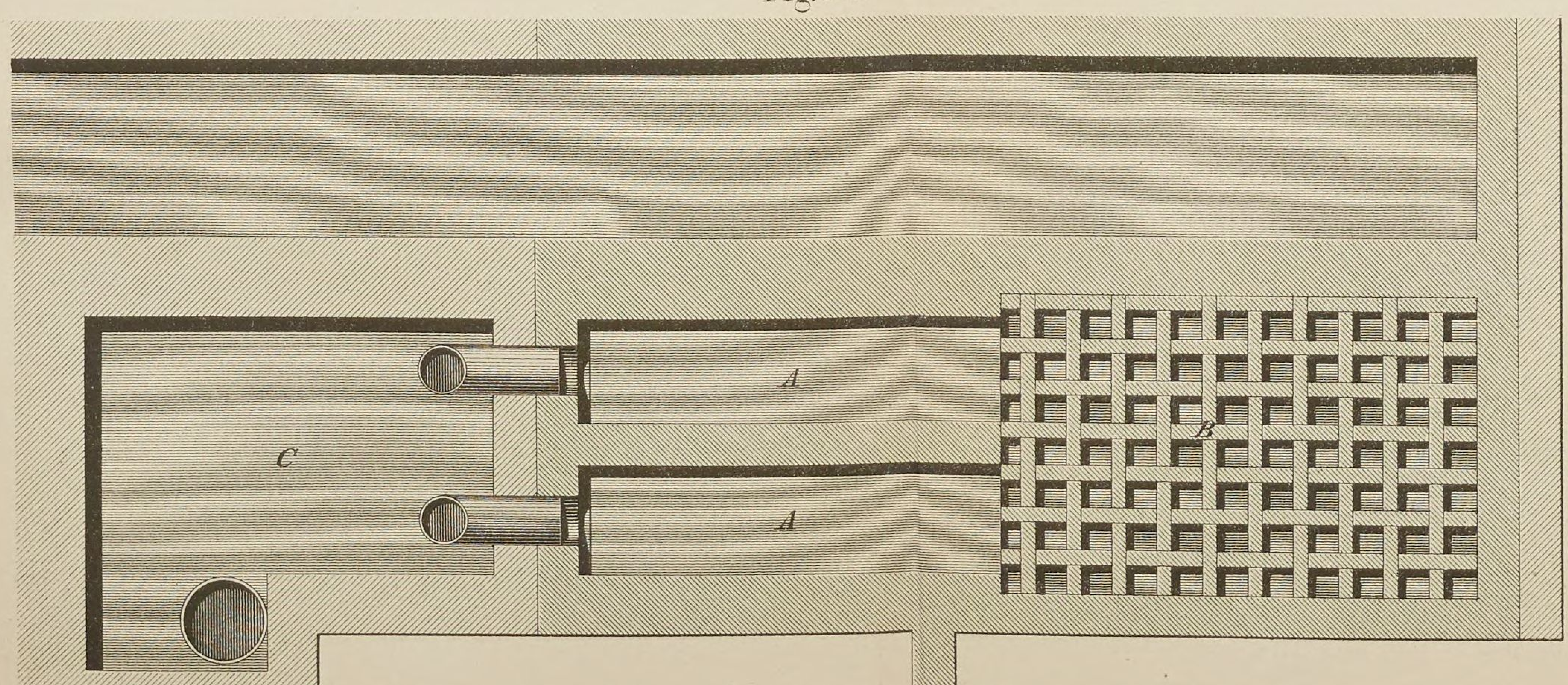


Fig. 123.



Verlag v. Arthur Felix, Leipzig.

Techn. art. Anst. v. Alfr. Müller, Leipzig-R.

deren Wände alsbald stark erhitzt werden; aus dieser Kammer strömen erst die bereits verbrannten Gase in den Heizraum.

Je grösser die von den heissen Wänden jener Kammer dargebotene Oberfläche ist, desto leichter wird ihr Zweck sich erreichen lassen. Bei der in Fig. 122 und 123 abgebildeten Dampfkesselfeuerung von Boecker[1]) durchströmt daher das Gas, nachdem es in dem Raume *A* sich mit der Luft bereits vereinigt hat, eine grosse Zahl senkrecht stehender, verhältnissmässig enger Kanäle *BB*, bevor es zu dem darüberliegenden Dampfkessel gelangt. Vor der Mischkammer *A* ist ein Staubsammelraum *C* angeordnet, durch welchen das Gas hindurchzieht; die Verbrennungsluft tritt, wie in Fig. 122 sichtbar ist, vom Scheitel des Mischraumes aus ein.

Die Anwendung solcher Verbrennungskammern mit grosser Oberfläche gewährt noch den andern Vortheil, dass das Gas an den heissen Wänden sich sofort wieder entzündet, wenn der Gasstrom unterbrochen gewesen sein sollte (z. B. während des Aufgichtens beim Hochofen). Wo man fürchten muss, dass diese selbstthätige Entzündung durch die Wände nicht stattfindet, ist man genöthigt, zur Vermeidung von Explosionen durch gebildetes Knallgas, einen Rost im Verbrennungsraume unmittelbar unter der Einströmungsöffnung für das Gas anzubringen, auf welchem aus Brennstoffabfällen ein schwaches Feuer unterhalten wird, welches die Wiederentzündung bewirkt.

Vorwärmung der Verbrennungsluft ist auch bei derartigen Feuerungen ein vortreffliches Mittel zur Erleichterung der Verbrennung und Erhöhung der Heizwirkung. Bei der abgebildeten Feuerungsanlage wird die Luft, indem sie durch das erhitzte Gewölbe des Misch- und Verbrennungsraums hindurchzieht, erwärmt; eine noch stärkere Erhitzung lässt sich erreichen, wenn sie in längeren Kanälen rings um die Verbrennungskammer herumgeführt wird.[2])

Die erforderliche Verbrennungsluft wird, wie bei fast allen Gasfeuerungen, durch Vermittelung einer Esse zugeführt, welche zugleich die Bewegung der Gase in den Leitungen erleichtert. Zwar würden bei einem Hochofen mit Gichtverschluss die Gase durch den im unteren Theile des Hochofens einströmenden Wind gezwungen werden, auch ohne jene Essenwirkung in den Leitungen sich weiter zu bewegen; aber ihre Spannung würde mit den Widerständen wachsen, welche sie in den Leitungen finden, und dieser höheren Gasspannung müsste eine gesteigerte Leistung der Gebläsemaschine entsprechen. Durch die saugende Wirkung der Esse wird jene Gasspannung in der Leitung verringert; ja, es würde in vielen Fällen gar nicht schwierig sein, die Essenwirkung in so kräftiger Weise zur Geltung zu bringen, dass statt des Ueberdrucks in den Leitungen Unterdruck herrschte, und die Gasspannung im Hochofen geringer ausfiele, als wenn man die Gase in die freie Luft entweichen liesse. Eine solche Maassnahme würde jedoch fehlerhaft sein. Die Erfahrung lehrt, dass der Hochofengang durch Entstehung von Oberfeuer, d. h. durch Aufsteigen der Schmelztemperatur in den zur Re-

1) In Friedenshütte und anderen Eisenwerken in Benutzung.

2) Eine derartige, von Lürmann entworfene und mehrfach mit gutem Erfolge angewendete Einrichtung ist abgebildet in A. Ledebur, Die Gasfeuerungen, Leipzig 1891, Seite 117.

duction bestimmten Theil des Hochofens, leidet, wenn die Gasspannung im Hochofen allzu stark verringert wird; schlimmer noch ist die Entstehung von Explosionen in der Leitung infolge des Umstandes, dass, wenn die Gasspannung in der Leitung niedriger ist als der Atmosphärendruck, nunmehr durch jeden Spalt, jede zufällige Oeffnung Luft von aussen her angesaugt wird und durch ihre Vermischung mit den brennbaren Gasen Knallgas bildet. Manche gefährliche Explosion ist in früherer Zeit dadurch entstanden, dass man diesen Umstand nicht beachtete.

Es ist deshalb nothwendig, durch Benutzung der vor jeder Ausflussöffnung des Gases anzubringenden Stellvorrichtung (Schieber, Drosselklappe) die Bewegung der Gase so zu regeln, dass an jeder Stelle der Leitung bis zum Austritte der Gase in den Heizraum ein, wenn auch nur ganz geringer, Ueberdruck vorhanden ist. Durch Anbringung eines Manometers in der Nähe der Ausflussöffnung kann man sich leicht von der Erfüllung dieser Bedingung überzeugen.

Die Abmessungen der Esse müssen der Menge der entstehenden Verbrennungsgase und den Widerständen entsprechen, welche sowohl die Verbrennungsgase als die noch unverbrannten Gase auf ihrem Wege finden. Während bei Benutzung der Gase zur Heizung einfacher, thurmartig aufgebauter eiserner Winderhitzer und kurzer Leitungen zwischen dem Hochofen und der Verbrennungsstelle mitunter kaum eine besondere Esse erforderlich ist, da der schachtartige Heizraum selbst als Esse wirkt, hat man in anderen Fällen, wo die Gase einen langen Weg mit zahlreichen Krümmungen zurückzulegen haben, Essen von mehr als 70 m Höhe bei 2 bis 2,5 Durchmesser in Anwendung gebracht. Eine zu geringe Essenwirkung kann die Benutzungsfähigkeit einer ganzen Heizanlage in Frage stellen; eine allzu kräftige Wirkung lässt sich durch Handhabung der Stellvorrichtungen für den Zutritt des Gases und der Luft abschwächen.

Literatur.

a) Grössere Werke.

S. Jordan, Album du cours de métallurgie professé à l'école centrale des arts et manufactures. Paris 1875. Pl. XIV - XXVII.

A. v. Kerpely, Die Anlage und Einrichtung der Eisenhütten. Leipzig 1873. S. 569.

E. F. Dürre, Die Anlage und der Betrieb der Eisenhütten, Bd. II. Leipzig 1883.

b) Abhandlungen.

J. Gjers, A description of the Ayresome Iron Works (Middlesborough) with remarks upon the alterations in size of Cleveland furnaces. Journal of the Iron and Steel Institute 1871.

Th. Whitwell, The construction, dimensions and management of blastfurnaces. Iron vol. XI, p. 677, 745, 806; vol. XII, p. 456, 486.

E. Gruner, Profils des hauts-fourneaux au charbon de bois en Styrie et en Carinthie. Annales des mines, série 7, tome IX, p. 551.

M. L. Gruner, Formes et dimensions intérieures des hauts-fourneaux. Annales des mines, série 7, tome XII, p. 472.

H. Fehland, Ueber Rauminhalt der Hochöfen. „Stahl und Eisen" 1882, S. 553.

P. Trasenster, Die Herstellung des Roheisens in den Vereinigten Staaten (mit Abbildungen der Hochöfen). Aus der Revue universelle des mines in „Stahl und Eisen" 1885, S. 552.

J. Pohlig, Die Rümelinger Hochofenanlage. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1886, S. 525.

E. Walsh, The irregularities of the blastfurnace process and a practical way to avoid them. Engineering and Mining Journal, vol. XLII, p. 311 (mit Abbildungen von Hochofenprofilen).

F. Lürmann, Welche Form verhindert am wenigsten den regelmässigen Niedergang der Beschickung? „Stahl und Eisen" 1887, S. 164.

A. Ledebur, Ueber die Entwickelung der innern Form der Eisenhochöfen. „Stahl und Eisen" 1887, S. 310.

B. Samuelson, Notes on the construction and cost of blastfurnaces in the Cleveland district in 1887. Journal of the Iron and Steel Institute 1887, p. 91.

J. Birkinbine, The distribution and proportions of American blastfurnaces. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. XIV, p. 561.

Die Hochofenanlage des South Chicago Stahlwerks. „Stahl und Eisen" 1887, S. 698.

Die neue Hochofenanlage zu Ensley in Alabama. „Stahl und Eisen" 1888, S. 6.

Hochofen der Elizawerke in Pittsburg. „Stahl und Eisen" 1890, S. 700.

J. Gayley, Die Entwickelung des amerikanischen Hochofenbetriebs. „Stahl und Eisen" 1890, S. 1004.

Limbor, Ueber die Einwirkung der Hochofengase und der Alkalien auf das Zustellungsmaterial der Hochöfen. Wochenschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1878, S. 259.

Langen, Ueber Kühlungen an Hochöfen. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1868, S. 599.

Ueber das Durchbrennen der Hochofen-Gestellwandungen und die Mittel, dies zu verhüten. Dinglers polyt. Journal, Bd. CCXXV, S. 151.

Conservirung des Mauerwerks in Betrieb befindlicher Hochöfen. Dinglers polyt. Journal, Bd. CCXXXI, S. 42.

F. Lürmann, Ueber das feuerfeste Mauerwerk der Hochöfen und dessen Erhaltung. „Stahl und Eisen" 1892, S. 265.

K. Sorge, Muss man Hochofenschächte unbedingt in feuerfestem Mauerwerk darstellen? „Stahl und Eisen" 1892, S. 268.

J. Gayley, Die Erhaltung der Wände von Gestell und Rast der Hochöfen. Aus den Transactions of the American Institute of Mining Engineers in „Stahl und Eisen" 1892, S. 424.

Ch. Cochrane, Ueber die Stellung der Formen bei Hochöfen. „Stahl und Eisen" 1882, S. 434, 555; Glasers Annalen, Bd. XI, S. 141.

Ch. Wood, On further improvements in blastfurnace hearths. Journal of the Iron and Steel Institute 1875, II, p. 427.

F. Lürmann, Besprechung des Vortrages von Ch. Wood: Ueber fernere Verbesserungen der Hochofengestelle. Dinglers polyt. Journal, Bd. CCXXI, S. 28.

J. M. Hartmann, Tuyeres, waterbreasts and cindernotches. Journal of the United States Association of Charcoal-Iron-Workers, vol. VI, p. 282.

Th. Jung, Ueber Hochofengasfänge. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1884, S. 969.

A. Weinlig, Einfluss der Gasfänge auf die Betriebsergebnisse der Hochöfen.

Reinigung der Gichtgase. „Stahl und Eisen" 1883, S. 499.
Beitrag zur Frage der Gichtgasreinigung. „Stahl und Eisen" 1883, S. 609.
F. Lürmann, Die Befreiung der Gichtgase von mitgerissenem Staube. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1884, S. 263.
H. Macco, Gasreinigung und Winderhitzung. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1888, S. 180.

III. Die Erzeugung, Erhitzung und Fortleitung des Gebläsewinds.

I. Die Gebläse.

Allgemeines.

Während bis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts einfache hölzerne Spitzbälge — in den Abbildungen Fig. 79 bis 81 eines alten Hochofens erkennbar — die üblichste Form der Hochofengebläse bildeten, werden zum Betriebe der Hochöfen der Jetztzeit ausnahmslos Cylindergebläse benutzt. Kein anderes Gebläse ist im Stande, die für einen Hochofen erforderliche Windmenge und Windpressung unter gleich günstiger Ausnutzung der von der Betriebsmaschine geleisteten Arbeit als ein gut eingerichtetes Cylindergebläse zu liefern; und die früher erwähnte beträchtliche Leistungsfähigkeit der jetzigen Hochöfen würde nicht erreichbar gewesen sein, wenn nicht mit der Vergrösserung der Hochöfen auch eine Vergrösserung und Vervollkommnung der Cylindergebläse Hand in Hand gegangen wäre.

Die Cylindergebläse entwickelten sich aus den um die Mitte des achtzehnten Jahrhunderts erfundenen hölzernen Kastengebläsen, nachdem diese sich als unzureichend für Erzeugung der stärkeren Pressung erwiesen hatten, welche durch Anwendung von Koks und Erhöhung der Oefen erforderlich geworden war. Das erste Cylindergebläse wurde 1780 auf der Carronhütte in Schottland in Betrieb gesetzt.[1])

Die allgemeine Einrichtung eines Cylindergebläses darf als bekannt vorausgesetzt werden. Eine ausführlichere Besprechung gehört in das Gebiet der Maschinenlehre. An dieser Stelle kann nur die Aufgabe vorliegen, die Eigenthümlichkeiten der für den Hochofenbetrieb benutzten Cylindergebläse hervorzuheben und die Vortheile und Nachtheile der verschiedenen üblichsten Formen der Cylindergebläse bei ihrer Verwendung für den Hochofenbetrieb einander gegenüber zu stellen.

Die Windspannung, mit welcher die Hochöfen betrieben werden, schwankt nach der Höhe der Oefen, der Dichtigkeit der Beschickung und der Verbrennlichkeit des Brennstoffs zwischen 0,03—1,0 kg auf 1 qcm, obschon allerdings Windspannungen von mehr als 0,5 kg nicht

1) A. Gurlt, Bergbau- und Hüttenkunde, 2. Auflage, Seite 123.

gerade häufig und fast nur für Anthrazithochöfen zur Anwendung gelangen.

Das Cylindergebläse muss also im Stande sein, diese Windspannung zu erzeugen. Da aber der Hochofen Jahr ein Jahr aus ununterbrochen im Betriebe ist, und jeder Stillstand, verursacht durch erforderliche Ausbesserungen am Gebläse, nicht allein einen Ausfall in der Roheisenerzeugung mit sich bringt, sondern auch störende Nachwirkungen auf den Verlauf des Schmelzganges ausübt, muss das Cylindergebläse auch in solcher Weise gebaut sein, dass jene Aussbesserungen auf ein möglichst geringes Maass beschränkt bleiben.

Der Betrieb der Hochofengebläse geschieht fast immer durch Dampfkraft, für deren Erzeugung die Gichtgase des Hochofens bei zweckmässiger Einrichtung der Gasentziehung, Feuerungsanlage wie der Dampfmaschine auch dann auszureichen pflegen, wenn ein Theil der Gase, wie gewöhnlich, zur Erhitzung des Gebläsewindes benutzt wird. Selbst da, wo eine Wasserkraft zum Betriebe des Gebläses verfügbar ist, pflegt man deshalb daneben eine Dampfmaschine in Bereitschaft zu halten, um bei Wassermangel nicht genöthigt zu sein, den Betrieb einzuschränken.

Wo Verkokungsöfen neben der Hochofenanlage sich befinden, lassen sich unter Umständen auch die Gase dieser zur Heizung der Dampfkessel für die Gebläsemaschine mit benutzen. In jedem Falle wird jenes Ziel, die Gebläsemaschine ohne Aufwand fremden Brennstoffs und ohne Schädigung der Winderhitzung nur durch die eigenen Gase des Hochofens zu betreiben, um so leichter erreicht werden können, je geringer der Dampfverbrauch der Maschine ist; daher sind Condensationsmaschinen geeignet, sofern die nöthige Wassermenge dafür zu beschaffen ist.

Man wendet ein- und mehrcylindrige (zwei- oder dreicylindrige) Gebläsemaschinen für den Hochofenbetrieb an. Eincylindrige sind bei derselben Leistung billiger in der Anlage, machen aber die Anlage eines Regulators (siehe unten) erforderlich, um die Ungleichmässigkeiten des Windstromes auszugleichen, und besitzen den Uebelstand, dass jede erforderliche Ausbesserung auch einen Stillstand des ganzen Gebläses nothwendig macht. Bei mehrcylindrigen Gebläsen kann unter Umständen, wenn die Ausbesserungsarbeit längere Zeit beansprucht, der Betrieb mit Hülfe des unversehrt gebliebenen Cylinders weiter geführt werden, nachdem der andere ausgeschaltet wurde; durch entsprechende Anordnung der Kolbenstellungen lassen sich jene Ungleichmässigkeiten des Windstromes und, bei stehenden Gebläsemaschinen, auch die Ungleichheiten in dem Arbeitsverbrauche bei Auf- und Niedergang der Kolben abmindern; und bei sehr grossem Windbedarfe kommt noch hinzu, dass der Durchmesser des einzelnen Cylinders bei mehrcylindrigen Gebläsen entsprechend kleiner als bei eincylindrigen ausfällt, welcher Umstand in mehr als einer Hinsicht vortheilhaft ist.

Fast alle durch Dampf betriebenen Cylindergebläse sind mit Kurbelwelle und mit Schwungrad versehen. Versuche, welche früher gemacht wurden, Gebläse ohne diese Theile zu betreiben, haben keine befriedigende Erfolge gegeben.[1]) Durch Anwendung einer Kurbel mit

1) Vergleiche Schlink, Ueber Gebläsemaschinen. Berlin 1880.

Schubstange ist das Maass des Hubs der Kolben auf's genaueste bestimmt; ohne Gefahr kann der Kolben bis nahe an die Cylinderdeckel bewegt und der schädliche Raum dadurch auf ein kleinstes Maass beschränkt werden. Fehlt die Kurbel, so muss vorzeitige Umsteuerung stattfinden, damit nicht eine Zertrümmerung der Cylinderdeckel eintrete, und es entsteht ein grosser schädlicher Raum; oder es müssen zur Begrenzung des Hubes starke Widerlager angebracht werden, gegen welche die bewegten Theile stossen, und hierdurch werden starke Erschütterungen hervorgerufen. Eine Kupplung mehrerer Cylinder macht an und für sich schon die Anwendung der Kurbelwelle nothwendig.

Durch Anordnung eines Schwungrades sollen, wie gewöhnlich, Ungleichförmigkeiten während der Bewegung vermieden werden; bei dem Betriebe des Gebläses durch Wasserkraft vertritt häufig das Wasserrad auch die Stelle des Schwungrades.

Obwohl man durch einen raschen Gang des Cylindergebläses den Vortheil erreicht, dass für eine verlangte Windmenge die Abmessungen sowohl des Cylinders als aller übrigen damit zusammenhängenden Theile geringer ausfallen, das Gebläse daher leichter und in der Anlage billiger wird, die Arbeitsverluste durch Reibung wegen des geringeren Gewichts der bewegten Theile ebenfalls sich entsprechend verringern und hierdurch eine günstigere Ausnutzung der geleisteten Arbeit erreicht wird, vermeidet man doch gerade bei Hochofengebläsen nach Möglichkeit eine übermässige Geschwindigkeit, durch welche die Gefahr häufiger Beschädigungen nahe gelegt werden könnte. Im Durchschnitt beträgt die mittlere Kolbengeschwindigkeit neuerer Hochofengebläse etwa 1,2 m in der Secunde, die grösste 1,5 m. Gebläse, deren Einrichtung grössere Gewähr für Haltbarkeit giebt, haben wohl eine etwas grössere, andere eine etwas geringere Kolbengeschwindigkeit, bedeutende Abweichungen jedoch sind selten und finden sich fast nur bei älteren Gebläsen mangelhafter Einrichtung.

Das Verhältniss der Hublänge zum Durchmesser beträgt bei den meisten Hochofengebläsen 0,7 bis 0,8.[1])

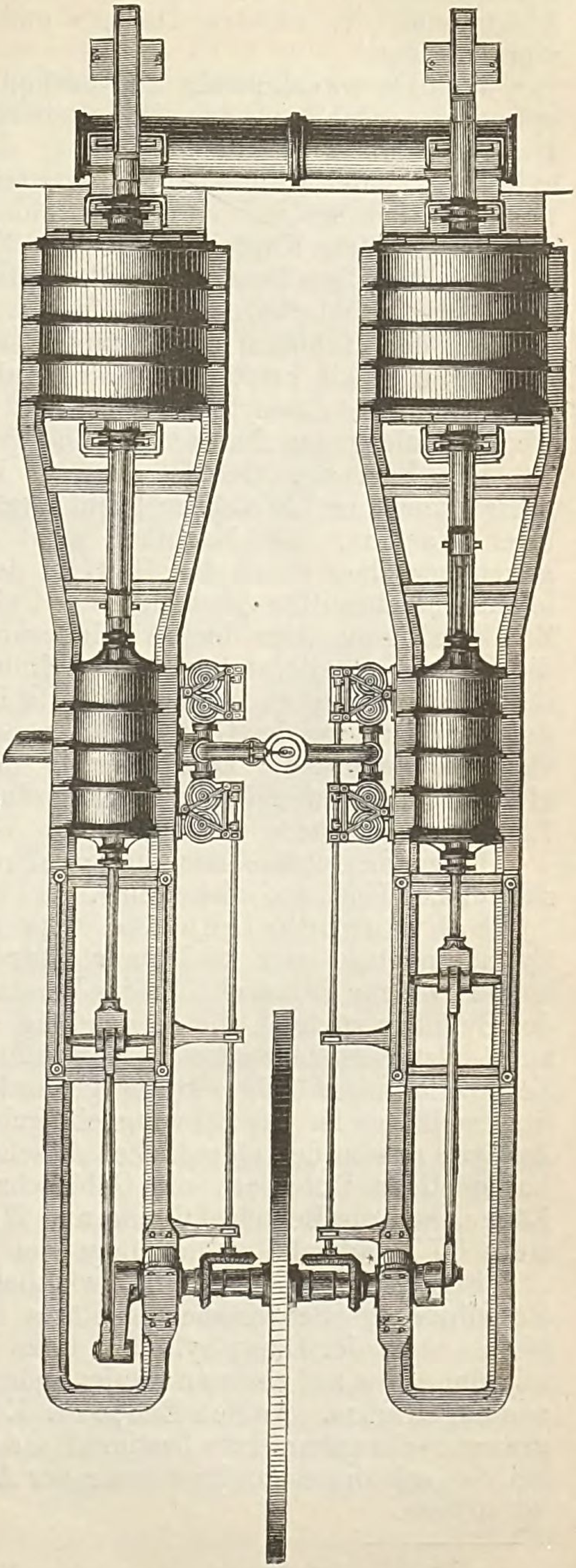
Das Cylindergebläse nebst Dampfmaschine muss in einem besonderen Gebäude aufgestellt werden, um gegen Staub und sonstige äussere Einflüsse nach Möglichkeit geschützt zu sein. In diesem Gebäude pflegt nun aber die Luft wegen des Entweichens von Wasserdampf aus den unvermeidlichen undichten Stellen der Dampfleitung oder — bei Gebläsen mit Wasserkraft — wegen der Nähe des Wassergrabens mit Feuchtigkeit gesättigt zu sein; der Hochofen erhält also, sofern die Gebläseluft unmittelbar von hier entnommen wird, zugleich Wasserdampf, durch dessen Zersetzung im Verbrennungsraume Wärme verbraucht wird. Grosse Gebläse aber werden innerhalb eines geschlossenen Gebläsehauses leicht einen luftverdünnten Raum erzeugen, wodurch die Leistung des Gebläses beeinträchtigt und starke Zugluft,

1) Geringe Hublängen bedingen häufige Hubwechsel und jeder Hubwechsel schmälert die Leistung des Gebläses, indem er den schädlichen Raum zur Geltung kommen lässt und kleine Ungenauigkeiten in der Arbeit der Ventile oder sonstigen Absperrvorrichtungen im Gefolge zu haben pflegt; grosse Hublängen machen das Gebläse schwerfälliger und in der Anlage kostspieliger.

begleitet von Staubentwickelung und einer Erschütterung der Thüren und Fenster, hervorgerufen werden kann. Eine zuerst auf englischen Eisenwerken eingeführte Einrichtung zur Vermeidung dieses Uebelstandes verdient daher Beachtung. Sämmtliche Saugöffnungen sind in einem Gehäuse eingeschlossen, welches durch ein weites Rohr mit der äusseren Luft in Verbindung steht. Die gesammte Gebläseluft wird auf diese Weise von aussen und zwar von einer beliebig zu wählenden Stelle her zugeführt, und die Luft im Gebläsehause bleibt von dem Gange des Gebläses unbeeinflusst.

Die üblichsten Gebläseformen.

Liegende Gebläse. Die Achse des Gebläsecylinders und, wenn Dampfkraft zum Betriebe benutzt wird, auch des Dampfcylinders, ist wagerecht. Bei Betrieb durch Dampf pflegt die Kolbenstange des Dampfcylinders mit der des Gebläsecylinders gekuppelt, der Gebläsecylinder an dem einen Ende, der Dampfcylinder in der Mitte, das durch Kurbel und Schubstange betriebene Schwungrad am andern Ende angeordnet zu sein. Fig. 124 stellt eine solche Anordnung bei zwei Cylindern mit einem gemeinschaftlichen Schwungrade in 120 der wirklichen Grösse dar.[1]) Es ist leicht zu ersehen, dass ein eincy-


Fig. 124.

1) Aus J. Schlink, Ueber Gebläsemaschinen.

lindriges Gebläse dieser Gattung in ganz derselben Weise, nur unter Weglassung des zweiten Dampf- und Gebläsecylinders, angeordnet werden kann.

Weniger zweckmässig und deshalb nicht üblich ist es, bei zweicylindrigen Gebläsen aus Billigkeitsrücksichten nur einen einzigen Dampfcylinder anzuordnen, welcher dann zwischen beiden Gebläsecylindern in der Mitte liegt (so dass seine Achse den Achsen der letzteren parallel ist) und vermittelst einer Schubstange und Kurbel die gemeinschaftliche Kurbelwelle treibt. Es sind dann zwei Schwungräder der gleichförmigen Belastung halber erforderlich, so dass auf jeder Seite der Dampfcylinderkurbel sich ein Schwungrad befindet.

Bei den Gebläsen mit gekuppelter Kolbenstange (wie in der Abbildung) trägt ein kräftiger Gusseisenrahmen die zu einander gehörigen Dampf- und Gebläsecylinder nebst dem zugehörigen Kurbelwellenlager, wodurch die ganze Anordnung eine grosse Sicherheit bekommt.

Die liegenden Gebläse sind in ihrer Anlage verhältnissmässig billig, leicht zu übersehen, leicht zugänglich und deshalb bequem in ihrer Wartung. Als Nachtheil steht diesen Vorzügen der Umstand gegenüber, dass durch das Gewicht der wagerecht bewegten Kolben leicht eine einseitige Abnutzung der Cylinderwände herbeigeführt wird. Zur Beseitigung oder doch Abminderung des Uebelstandes macht man die Kolben möglichst leicht, die Kolbenstangen dick und hohl und lässt die letzteren an beiden Seiten in Führungen gleiten. Da aber mit dem Durchmesser des Gebläsekolbens sein Gewicht, mit der Länge des Gebläsecylinders die Durchbiegung der Kolbenstange grösser wird, giebt man selten grössere Cylinderdurchmesser als 2,25 m bei etwa 1,6 m Hub, meistens noch darunter.

Liegende Gebläse, nach diesen allgemeinen Regeln gebaut, sind auf zahlreichen Hochofenwerken in Anwendung und haben sich gut bewährt.

Schwinghebelgebläse. Sie gehören zu den ältesten aller Cylindergebläse und sind ihrer Standfestigkeit und Dauerhaftigkeit halber, welche Eigenschaften im Vereine mit der senkrechten Stellung der Cylinder zugleich die Anwendung grosser Hublängen ermöglichen, auch jetzt noch bisweilen in Anwendung, obschon sie in der neueren Zeit verhältnissmässig seltener geworden sind. Denn unter allen Cylindergebläsen ist das Schwinghebelgebläse das kostspieligste in seiner Anlage; ausser den eigentlichen Anschaffungskosten erfordert es einen kostspieligen Unterbau, ein Gebläsehaus von ansehnlicher Höhe und Länge, und die Beaufsichtigung und Wartung der Maschine ist, wenigstens im Vergleiche zu den liegenden Maschinen, erschwert.

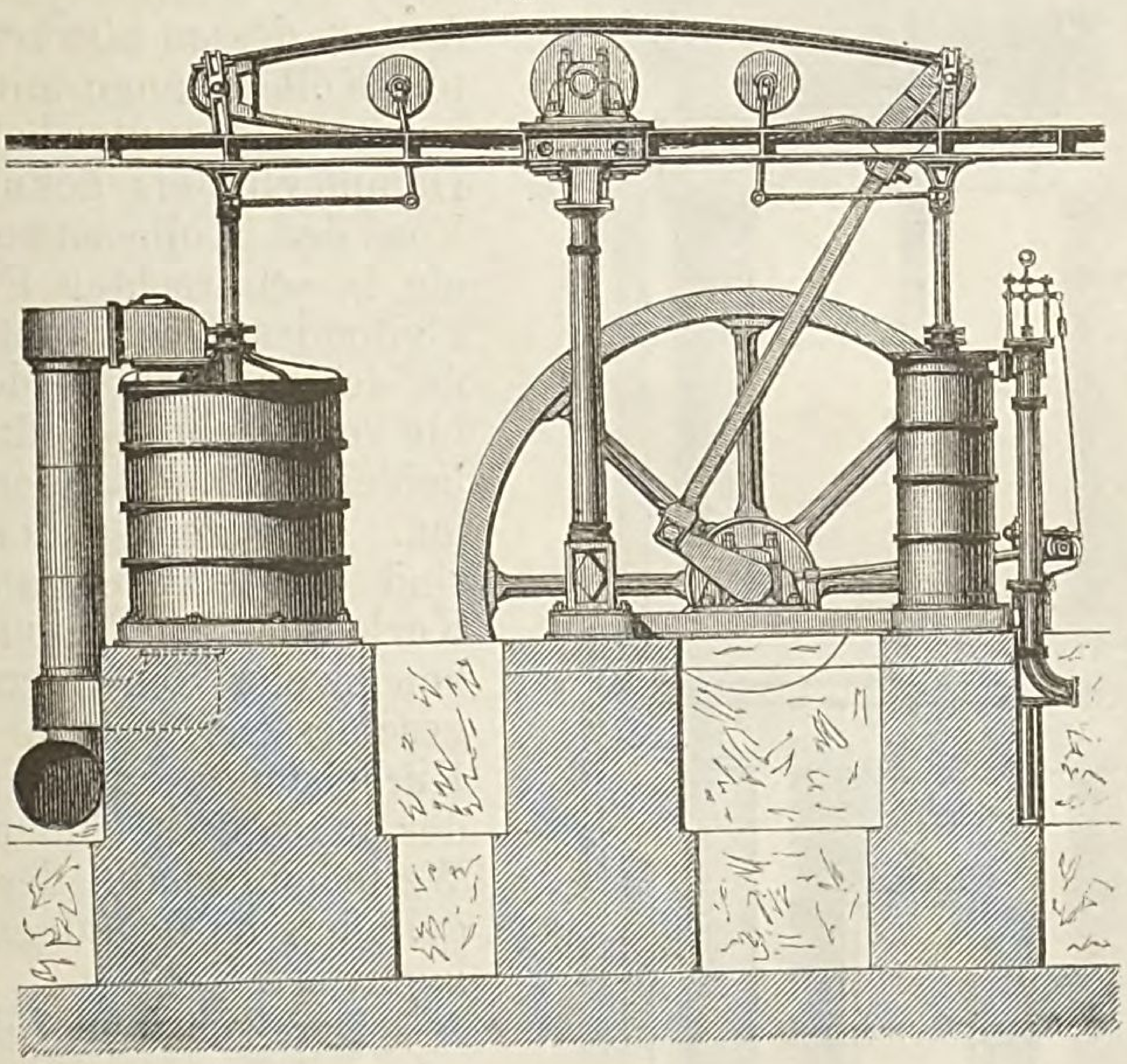
Fig. 125 zeigt in $^1/_{175}$ der wirklichen Grösse die Anordnung eines eincylindrigen Schwinghebelgebläses mit Kurbel und Schwungrad.[1]) Rechts steht der Dampfcylinder, links der Gebläsecylinder, durch Vermittelung des auf eisernen Säulen gelagerten Schwinghebels von jenem aus angetrieben. An den Enden der Kolbenstangen sind die Parallelogramme erkennbar, dazu bestimmt, die Geradführung der Kolbenstangen bei der schwingenden Bewegung der Angriffspunkte am Schwinghebel zu sichern.

1) Früheres Gebläse des Eisenwerkes Vulkan, Schlink a. a. O.

Bei Betrieb durch Wasserkraft wird von dem Wasserrade oder der Turbine aus die Kurbelwelle angetrieben und von hier aus die Bewegung durch die Schubstange auf den Schwinghebel übertragen. Da der Dampfcylinder in Wegfall kommt, kann die Kurbelwelle alsdann senkrecht unter der Angriffsstelle der Schubstange am Schwinghebel liegen.

Mehrcylindrige Maschinen sind seltener als eincylindrige, da man dem stehenden Gebläsecylinder ohne Nachtheil einen grösseren Durchmesser als dem Cylinder der liegenden Gebläse geben kann. Für jedes Cylinderpaar (Dampf- und Gebläsecylinder) ist bei den mehrcylindrigen Gebläsen ein besonderer Schwinghebel erforderlich und die Schubstangen treiben die gemeinschaftliche Kurbelwelle, deren Kurbeln unter

Fig. 125.



entsprechendem Winkel (bei zwei Cylindern unter 90°) gegen einander gestellt sind.

Die Schwungradwelle befindet sich entweder, wie in der Abbildung, zwischen beiden Cylindern, oder noch häufiger vor dem Dampfcylinder. Der Schwinghebel pflegt in diesem Falle mit einer hornartigen Verlängerung versehen zu sein, an welcher die Schubstange angreift.[1])

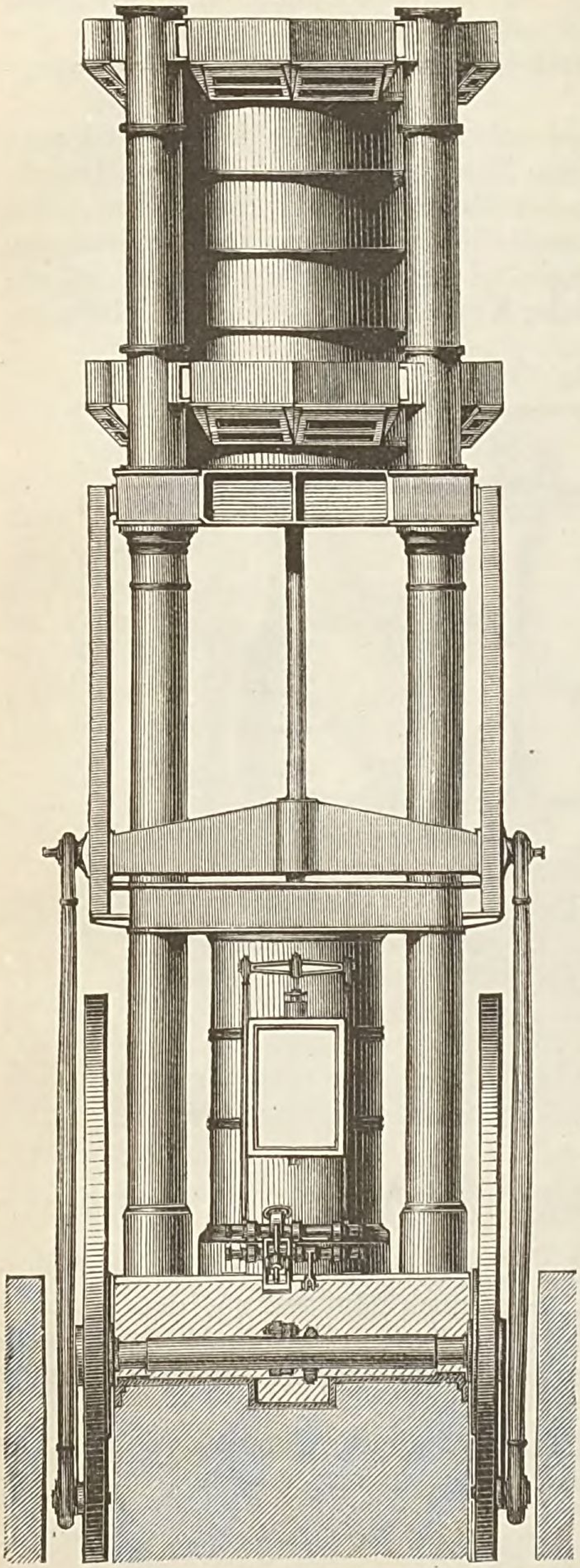
Man giebt Schwinghebelgebläsen Cylinderdurchmesser bis zu 3,5 m (selten allerdings über 3 m) und Hubhöhen bis zu 3 m (Verhältniss der Hubhöhe zum Durchmesser $^5/_6$—$^6/_5$).

Stehende Gebläse mit doppelten Kurbelstangen oder

1) Beispiele dieser Einrichtung und die Gründe für ihre Anwendung: J. Schlink im genannten Werke, Seite 7.

Seraingġebläse. Die allgemeinere Einrichtung dieser Gebläse, welche seit Anfang der fünfziger Jahre in besonders grosser Zahl von der Firma John Cockerill in Seraing gebaut wurden und ihre grösste Verbreitung gegen Ende der sechziger Jahre und im Anfange der siebziger Jahre fanden, ist durch die Abbildung Figur 126 dargestellt.

Fig. 126.



Auf einem von Säulen oder Ständern getragenen Rahmen ist der Gebläsecylinder befestigt, dessen abwärts gerichtete Kolbenstange mit der Kolbenstange des unten befindlichen Dampfcylinders gekuppelt ist. Von den Kolbenstangen wird ein in senkrechten Führungen gleitendes Querhaupt bewegt, an dessen nach beiden Seiten hin vorstehenden Endzapfen die beiden Kurbelstangen angreifen. Mit dem anderen Ende sind die letzteren an die als Kurbelscheiben benutzten Naben zweier Schwungräder angeschlossen, welche zwischen Kurbelstange und Dampfcylinder angeordnet sind und deren Welle unterhalb des Dampfcylinders im Grundgemäuer gelagert ist.

Der Umstand, dass zwischen Dampf- und Gebläsecylinder dieser Gebläse ein ausreichender Raum für die Bewegung des Querhauptes bleiben muss, bedingt eine beträchtliche Höhe des genannten Gebläses, und mit der Höhe des Gebläses wächst ebensowohl die Höhe des erforderlichen Gebäudes als auch die Schwierigkeit der Beaufsichtigung. Die ganze Anordnung eignet sich vorzugsweise für eincylindrige Gebläse, und mehrcylindrige bilden seltene Ausnahmen. Bei allen stehenden Gebläsen ohne Schwinghebel aber findet, da beim Aufgange

der Kolben die sämmtlichen bewegten Theile gehoben werden müssen, beim Niedergange durch ihr Gewicht Arbeit verrichten, eine ungleichmässige Benutzung der von der Kraftmaschine geleisteten Arbeit und somit ungleichförmige Bewegung statt, sofern nicht Ausgleichung geschaffen wird. Gekuppelte mehrcylindrige Gebläse gewähren den Vortheil, dass durch entsprechende Stellung der einzelnen Kurbeln gegeneinander eine gegenseitige Ausgleichung zu erreichen ist; bei den eincylindrigen Seraingmaschinen dagegen müssen besondere Vorkehrungen für diesen Zweck geschaffen werden, und diese sind um so wichtiger, da das Gewicht der bewegten Theile sehr bedeutend zu sein pflegt (es beträgt z. B. bei einer Maschine von 2,5 m Durchmesser des Windcylinders und 2,5 m Hub gewöhnlich mehr als 8000 kg). Man benutzt hierfür gewöhnlich Gegengewichte, welche am Kranze der Schwungräder befestigt werden; mitunter auch sucht man durch Anwendung eines Differenzialkolbens der Dampfmaschine den Uebelstand abzuschwächen, d. h. durch Anwendung einer dickeren Kolbenstange, welche den freien Cylinderquerschnitt oberhalb des Kolbens entsprechend verringert.

Diesen Schwächen der Seraingggebläse stehen als Vorzüge gegenüber: die unmittelbare Kraftübertragung, wodurch alle Zwischentheile entbehrlich werden; die Möglichkeit, grosse Kolbenhübe und, wenn erforderlich, grosse Cylinderdurchmesser anzuwenden; die geringe Grösse der erforderlichen Grundfläche.

Man pflegt die Seraingmaschinen in Grössen bis zu 3 m Gebläsecylinderdurchmesser zu bauen; die Hubhöhe der meisten grösseren Maschinen beträgt 2,5 – 2,8 m.

Stehende Gebläse mit einer Kurbelstange oder Cleveland-Gebläse. Dampf- und Gebläsecylinder stehen unmittelbar über einander und werden von Säulen oder Ständern getragen; die nach unten verlängerte Kolbenstange des unteren der beiden Cylinder endigt in einem zwischen senkrechten Führungen gleitenden Kreuzkopfe, an welchen die Kurbelstange angreift; die Kurbel- und Schwungradwelle befindet sich zu ebener Erde.

Bei einzelnen dieser Gebläse befindet sich der Dampfcylinder zu oberst und der Gebläsecylinder darunter. Diese vorzugsweise häufig in Cleveland, der Heimath dieser Gebläse, angewendete Anordnung hat den Vortheil eines gefälligen Aeusseren, ist aber insofern ungünstig, als das aus der Stopfbuchse des Dampfcylinders herabtröpfelnde verdichtete Wasser sich auf dem Deckel des Gebläsecylinders ansammelt. Fig. 127 zeigt in $^1/_{136}$ der wirklichen Grösse drei derartige, in einem gemeinschaftlichen Gebläsehause angeordnete, übrigens von einander unabhängige Gebläse aus den siebziger Jahren.[1]) Die Gebläsecylinder haben Durchmesser von 2438 mm, die Dampfcylinder solche von 1016 mm, die Hublängen betragen 1220 mm. Die einzelnen Theile der Maschinen sind leicht erkennbar. Jede Schubstange treibt eine entsprechend gekröpfte Kurbelwelle, auf deren Enden zwei Schwungräder befindlich sind, eine Einrichtung, welche die Erzielung eines gleichmässigeren Ganges zum Zweck hat, nicht aber allgemein gebräuchlich ist.

Aus der gegebenen, durch Fig. 127 ergänzten Beschreibung der

1) Schlink a. a. O.; Engineering 1877, vol. II.

Clevelandgebläse folgt, dass sie in ihrer Wirkungsweise mit den Seraing-gebläsen Aehnlichkeit besitzen; ein wesentlicher Unterschied liegt in dem Umstande, dass bei ersteren der Angriffspunkt der Kurbelstange

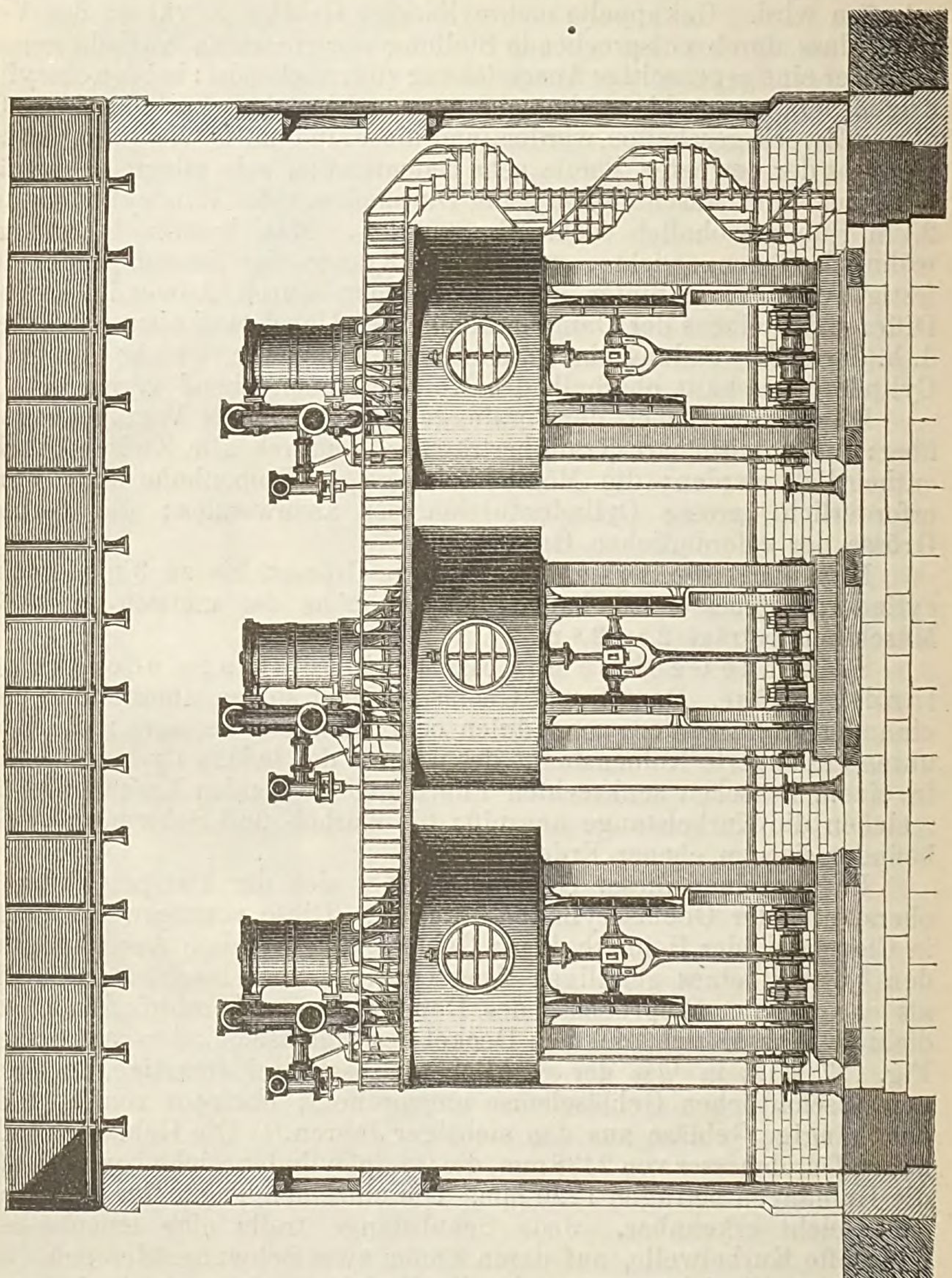


Fig. 127.

unterhalb beider Cylinder, bei den Seraingebläsen zwischen ihnen liegt, welcher Umstand eben bei letzteren die Anwendung eines breiten Querhauptes mit zwei Kurbelstangen erforderlich macht. Dem Vor-

theile, welchen in dieser Beziehung die Einrichtung der Clevelandgebläse gewährt, steht der Nachtheil gegenüber, dass bei gleichen Hublängen beider Gebläsesysteme die Gesammthöhe des Clevelandgebläses noch beträchtlicher ausfällt als bei den Serainggebläsen. Die Ursache hierfür ist bei einem Vergleiche der beiden verschiedenen Anordnungen leicht erkennbar: bei den Serainggebläsen befinden sich die Kurbelstangen, deren Länge in einem bestimmten Verhältnisse zu der Hublänge stehen muss, neben dem Dampfcylinder, und mit der Höhe der Cylinder nimmt auch die Länge der Kurbelstangen zu; bei den Clevelandgebläsen muss unterhalb der Führungen für den Kreuzkopf noch eine der Länge der Kurbelstange entsprechende Höhenabmessung zugegeben werden.

Man giebt deshalb diesen Clevelandgebläsen geringere Hubhöhen, damit die Gesammthöhe des Gebläses nicht allzu beträchtlich ausfalle, und hieraus ergiebt sich dann die eigenthümliche gedrückte Form, durch welche die Cylinder dieser Gebläse gekennzeichnet zu sein pflegen.

Für die Anordnung mehrcylindriger Gebläse ist die Clevelandform entschieden besser als die Seraingform geeignet. Man hat deshalb auf verschiedenen Eisenwerken zweicylindrige, mitunter sogar dreicylindrige Clevelandgebläse in Anwendung.

Ist das Gebläse zweicylindrig, so pflegt man die Kurbeln an den Enden der Schwungradwelle und das Schwungrad in der Mitte zwischen beiden Kurbeln und Gerüsten anzuordnen. Stellt man hierbei, wie es bei liegenden und Schwinghebelgebläsen üblich ist, die Kurbel unter 90 Grad gegen einander, so findet zwar Ausgleichung der Ungleichmässigkeiten des Windstromes statt, nicht aber völlige Ausgleichung der durch das Gewicht der bewegten Theile verursachten Ungleichmässigkeiten in der Benutzung der von der Dampfmaschine geleisteten Arbeit; stellt man dagegen, wie es üblicher ist, die Kurbeln um einen Winkel von 180 Grad gegen einander, so gleichen sich die Gewichte der bewegten Theile gegenseitig aus, aber für die Erzielung eines gleichmässigen Windstromes ist die Anwendung eines Regulators erforderlich.

Bei Drillingsgebläsen werden die Kurbeln um 120 Grad gegen einander verstellt, wodurch ebensowohl Gewichtsausgleichung als Ausgleichung der Ungleichmässigkeiten des Windstromes erreicht wird.

Die beschriebenen Gebläse sind seit Anfang der sechziger Jahre bis zur Jetztzeit sowohl in Grossbritannien als in Deutschland und anderen eisenerzeugenden Ländern häufig zur Anwendung gekommen. Sie bilden neben den liegenden Gebläsen die jetzt üblichste Gebläseform. Man giebt den Gebläsecylindern Durchmesser bis zu 3 m, am häufigsten 2 bis 2,5 m; die Hublänge dagegen ist selten grösser als 1,5 m.

2. Die Regulatoren.

In Vorstehendem ist mehrfach erwähnt worden, dass bei Anwendung eincylindriger Gebläse eine besondere Ausgleichvorrichtung — ein Regulator — in die Windleitung eingeschaltet werden müsse zu dem

Zwecke, die Unregelmässigkeiten des Windstromes abzuschwächen oder zu beseitigen, welche durch den steten Wechsel in der Bewegung des Gebläsekolbens hervorgerufen werden. Unter den verschiedenen für diesen Zweck vorgeschlagenen Einrichtungen findet bei Hochofenanlagen nur eine einzige Verwendung: ein geräumiger Behälter, durch welchen der Gebläsewind hindurchströmt und welcher demnach ununterbrochen mit gepresster Luft gefüllt ist. Die Wirkung dieser eingeschlossenen Luft ist der einer Feder oder eines Schwungrades ähnlich; bei plötzlich gesteigerter Leistung der Gebläsemaschine wird sie stärker gespannt, nimmt also zunächst den grössten Theil der überschüssig geleisteten Arbeit auf und schafft durch Abgabe Ausgleich, sobald die Leistung des Gebläses plötzlich nachlässt. Es ist leicht zu ermessen, dass die Leistung des Regulators um so vollständiger sein wird, je grösser sein Rauminhalt ist. Nach Hauer soll bei eincylindrigen Gebläsen der Inhalt des Regulators mindestens das 20 fache von dem Inhalte des Gebläsecylinders betragen; auch bei Zwillingsmaschinen, deren Kurbeln um 180 Grad gegen einander gestellt sind (Clevelandmaschinen), ist der 20fache Inhalt beider Gebläsecylinder erforderlich. Für zweicylindrige Maschinen mit unter 90 Grad gegen einander gestellten Kurbeln würde dagegen, falls man überhaupt hier zur Erlangung eines noch gleichmässigeren Windstromes einen Regulator anwenden will, ein geringerer Rauminhalt — etwa das 10 fache der Gebläsecylinder — genügen. Eine Windleitung von sehr weitem Durchmesser würde ohne weiteres als Regulator wirken.

Man fertigt die Regulatoren aus vernieteten Eisenblechtafeln und giebt ihnen Cylinderform, welche sich leichter herstellen lässt und weniger Platz für die Aufstellung beansprucht als die vor Jahrzehnten häufiger angewendete Kugelform, welche den Vortheil geringeren Materialverbrauchs bei gegebenem Inhalte besitzt.

Ob der cylinderförmige Regulator senkrechte oder wagerechte Stellung erhält, wird von dem zu seiner Aufstellung verfügbaren Platze abhängig sein müssen; letztere Anordnung ist häufiger.

Empfehlenswerth ist es, auf dem Scheitel des Regulators ein Sicherheitsventil anzubringen.

3. Die Winderhitzer.

Nachdem schon 1822 durch E. F. Leuchs[1]) der Vorschlag gemacht worden war, erwärmte Luft zum Betriebe metallurgischer Feuerungen zu verwenden, wurde der erste Versuch im Jahre 1829 durch den Gasingenieur J. B. Neilson bei dem Hochofenbetriebe der Clydehütte in Schottland angestellt. Trotz der Unvollkommenheit des zuerst angewendeten Winderhitzers war doch der Erfolg überraschend befriedigend; der Brennstoffverbrauch für Darstellung gleicher Mengen Roheisen verringerte sich, und die Leistungsfähigkeit des Hochofens stieg. Neilson selbst verbesserte bald die Einrichtung seiner Winderhitzer, und wenige Jahre später wurden bereits fast sämmtliche Hoch-

1) Handbuch für Fabrikanten, Band VIII, Seite 388.

öfen Schottlands mit warmem Winde betrieben. In der Jetztzeit gehört ein mit kaltem Winde betriebener Hochofen zu den grössten Seltenheiten, nachdem man gelernt hat, einer etwaigen Benachtheiligung der Eigenschaften des erfolgenden Roheisens, welche durch Erhitzung des Windes herbeigeführt werden könnte, durch zweckmässige Zusammensetzung der Hochofenbeschickung entgegen zu wirken.

Ziemlich mannigfaltig ist die Einrichtung der für die Winderhitzung benutzten Vorrichtungen. Im Grossen und Ganzen jedoch lassen sich zwei Hauptgruppen unterscheiden.

Bei der einen Gruppe wird der Wind durch eiserne Röhren hindurchgeführt, welche innerhalb einer gemauerten Kammer — eines Ofens — von aussen erhitzt werden; man nennt sie eiserne Winderhitzer.

Bei der anderen Gruppe strömt der Wind durch eine gemauerte, mit feuerfesten Steinen ausgesetzte, zuvor stark erhitzte Kammer, hier sich erwärmend, während die Kammer Wärme abgiebt, und eine zweite gleiche Kammer wird inzwischen durch das hindurchströmende und verbrennende Gas geheizt. Von Zeit zu Zeit wird umgeschaltet, der Wind nimmt seinen Weg durch die inzwischen geheizte Kammer, während die erste auf's neue geheizt wird. Die Einrichtung beruht also genau auf denselben Vorgängen wie die aller Siemensöfen (S. 136). Man nennt diese Vorrichtungen steinerne Winderhitzer.

Eiserne Winderhitzer gestatten auf die Dauer kaum eine stärkere Erhitzung des Windes als 500° C., obschon man, solange die eisernen Röhren noch neu sind, Temperaturen von über 550 Grad hervorbringen kann. Das Eisen verliert aber um so rascher an Wärmeleitungsfähigkeit und wird überhaupt um so rascher in „Brandeisen“ (vergl. S. 255) umgewandelt, bekommt Risse und Sprünge, je stärker es erhitzt wird. In steinernen Winderhitzern dagegen lassen sich auch nach längerer Benutzung Windtemperaturen von 750—800° C. erzielen. In den meisten Fällen nun sinkt beim Hochofenschmelzen der Brennstoffverbrauch, wenn die Windtemperatur steigt; und für Darstellung gewisser Eisengattungen (Eisenmangan, Siliciumeisen) ist die Anwendung hoch erhitzten Windes fast unentbehrlich. Daher sind die später erfundenen steinernen Winderhitzer jetzt häufiger als die eisernen in Anwendung. Ihre Anlagekosten sind zwar höher als die der eisernen, ihre Unterhaltungskosten dagegen durchschnittlich geringer.

Die Heizung der Winderhitzer, sie mögen der einen oder andern Gruppe angehören, geschieht regelmässig durch die dem Ofen entzogenen Gichtgase, und erst seit man gelernt hatte, diese Gasentziehung ohne Nachtheil für das Hochofenschmelzen zu bewirken, konnte auch die Winderhitzung zu dem jetzigen Grade der Vollkommenheit sich ausbilden. Auf dem Eisenwerke Wasseralfingen, wo durch die Bestrebungen Faber du Faurs die Benutzung der Gichtgase und die Gasfeuerung überhaupt eine so wesentliche Förderung erhielt, scheint auch zuerst die Verwendung der Gichtgase zur Heizung der Winderhitzer eingeführt worden zu sein, nachdem die von Neilson

erbauten Vorrichtungen durch gewöhnliche Rostfeuerung erhitzt worden waren.

Dass in Wirklichkeit die Menge der Gichtgase der meisten Hochöfen ausreichend ist, nicht allein die Winderhitzer, sondern auch die Dampfkessel für den Betrieb der Gebläse, Aufzüge u. s. w. zu heizen, wurde schon oben hervorgehoben und durch Rechnung erläutert.

Die eisernen Winderhitzer.

Bei den älteren, für kleinere Hochöfen bestimmten Vorrichtungen dieser Art pflegte man den gesammten zu erhitzenden Wind durch einen einzigen Röhrenstrang hindurchzuleiten, welcher — aus geraden Muffenröhren und Krümmlingen zusammengesetzt — in verschiedenen Windungen sich durch die Erhitzungskammer hindurchzog. Je grösser aber der Querschnitt eines solchen Rohres ist, desto ungünstiger ist das Verhältniss seiner wärmeaufnehmenden Aussenfläche zu dem inneren Querschnitte, desto ungünstiger also auch die Ausnutzung der entwickelten Wärme. In Rücksicht hierauf vertheilt man bei neueren Winderhitzern regelmässig den Wind in eine grössere Zahl einzelner Rohrstränge, welche von der Hauptwindleitung abgezweigt und selbständig durch den Heizraum hindurchgeführt werden, um später sich wieder in dem Hauptwindrohre für den heissen Wind zu vereinigen. Den Röhren innerhalb des Heizraumes aber giebt man oblongen Querschnitt und erzielt auch hierdurch eine Vergrösserung der Heizfläche gegenüber den Röhren mit kreisförmigen Querschnitten.

Da eine allzu beträchtliche Ausdehnung der Abmessungen des Winderhitzers benachtheiligend auf die Gleichmässigkeit der Erhitzung der einzelnen durch den Heizraum hindurchgehenden Röhren einwirken würde, ordnet man, sofern grössere Windmengen zu erhitzen sind, mehrere Winderhitzer an, deren jeder nur einen Theil des gesammten Windes zu erhitzen bestimmt ist. Sowohl in dem Eintritts- als Ausgangsrohre jedes Erhitzers werden Absperrungsvorrichtungen (Schieber, Klappen, Ventile) angebracht, so dass nöthigenfalls eine einzelne Heizkammer zur Vornahme von Ausbesserungen ausgeschaltet und kalt gelegt werden kann, ohne dass die übrigen in Mitleidenschaft gezogen zu werden brauchen.

Je grösser die Heizfläche eines Winderhitzers im Verhältnisse zu der Menge des zu erhitzenden Windes ist und je langsamer der Wind innerhalb der Röhren sich fortbewegt, d. h. je grösser der Querschnitt der neben einander angeordneten Röhren ist, desto weniger stark brauchen diese selbst erhitzt zu werden, um dem Winde eine bestimmte Temperatur zu verleihen, desto günstiger wird die entwickelte Wärme ausgenutzt werden können, desto seltener werden Auswechselungen schadhaft gewordener Röhren erforderlich werden, und desto geringer ist die Gefahr, dass durch Undichtigkeiten Windverluste entstehen. Je grösser die Heizfläche ist, desto grösser wird im Allgemeinen auch der Querschnitt sein, obschon sich durch die Wahl einer geeigneten Querschnittsform und durch Vertheilung des Windes in einzelne Röhrenstränge, sowie endlich auch durch eine grössere Längenausdehnung des Weges, welchen der Wind innerhalb des Heizraumes zurücklegt,

das Verhältniss der Heizfläche zum Querschnitte günstiger oder weniger günstig gestalten lässt.

Jedenfalls steigt mit der Grösse des gesammten Röhrenquerschnitts und mit der Grösse der Heizfläche auch der Betrag der Anlagekosten des Winderhitzers. Es erklärt sich hieraus, dass man bei den vorhandenen eisernen Winderhitzern hinsichtlich des Verhältnisses der Heizfläche zur Windmenge und hinsichtlich der Geschwindigkeit des Windes in den Röhren ziemlich bedeutende Abweichungen findet, je nachdem man davon ausging, mit geringen Anlagekosten zu bauen, oder die Wärme günstig auszunutzen und dem Winderhitzer eine grössere Dauerhaftigkeit zu verleihen.

Nach einer empirischen Regel soll, wenn C den Koksverbrauch im Hochofen in 24 Stunden in Tonnen, T die Temperatur des in den Hochofen einströmenden Windes, F die Heizfläche des Winderhitzers in Quadratmeter bezeichnet,

$$F = 0{,}013 \text{ bis } 0{,}015\ C\,T$$

sein.[1]) Nun empfängt der Hochofen für jede Tonne Koks, welche in 24 Stunden verbrannt werden, ungefähr 2 cbm Wind in der Minute[2]); bezieht man also jene Formel auf den in der Minute durch die Röhren hindurchstreichenden Wind, so würde man $F = 0{,}007\ T$ erhalten, und wenn man für T durchschnittlich 450° C. annimmt, ergiebt sich die erforderliche Heizfläche für je 1 cbm Wind in der Minute gleich ungefähr 3 qm.

In Wirklichkeit findet man Heizflächen von 1,5 bis 4 qm, wobei die Geschwindigkeit des Windes im umgekehrten Verhältnisse zur Grösse der Heizfläche zu stehen pflegt und zwischen 10 m bis 40 m in der Secunde schwankt.[3])

Räthlich ist es, nicht weniger als 2 qm Heizfläche für je 1 Cubikmeter Wind in der Minute und keine grössere mittlere Geschwindigkeit des Windes als 15 m in der Secunde anzunehmen. Je grösser diese Geschwindigkeit ist, desto stärker sind auch die Pressungsverluste, desto ungünstiger ist die Ausnutzung der vom Gebläse verrichteten Arbeit.

Die auf einander folgenden geraden Röhren werden durch Krümmlinge (Rohrkrümmer) oder ähnliche Zwischenstücke mit einander verbunden. Man versieht die einen zu diesem Zwecke mit angegossenen Muffen, in welche die Enden der anderen hineintreten, und bewirkt die Verdichtung durch Rostkitt.[4]) Jede solche Verbindungsstelle aber bildet

1) H. Wedding, Zweiter Ergänzungsband zum Handbuche der Eisenhüttenkunde, Braunschweig 1887, Seite 228. Daselbst ist auch eine theoretische Formel für die Berechnung der Heizfläche mitgetheilt.

2) Näheres hierüber bei Besprechung der Windberechnung.

3) Da man den Röhren sowohl am Anfange als am Ende des Winderhitzers aus Rücksicht auf die einfachere Herstellung den gleichen Querschnitt zu geben pflegt, steigert sich die Geschwindigkeit des hindurchgehenden Windes während der Erhitzung nach dem Verhältnisse $v_1 = v\ (1 + 0{,}00366\,t)$ und pflegt beim Austritte aus den Röhren doppelt bis dreimal so gross als beim Eintritte zu sein. Unter mittlerer Geschwindigkeit ist diejenige verstanden, welche der Wind im Mittel zwischen kaltem und heissem Zustande besitzt.

4) Dargestellt durch Vermischen von 60 Thl. feingesiebten Eisenfeilspänen, 2 Thl. Salmiak, 1 Thl. Schwefelblumen und so viel Essig, dass das Ganze dickbreiige Beschaffenheit erhält. Der Kitt wird bald nach dem Mischen mit Hülfe eines Stabes

eine Gefahr, indem sie die Entstehung von Undichtigkeiten befördert, zumal wenn sie mit den Röhren im Feuer liegt; ordnet man aber die Verbindungsstücke ausserhalb des Heizraumes an, wie es in der That bei manchen Formen der Winderhitzer unvermeidlich ist, so wird dadurch das für eine verlangte Heizfläche erforderliche Gesammtgewicht der Röhren sehr erheblich. Man verwendet daher häufig Doppelröhren, d. h. man giesst, wie die unten gegebenen Abbildungen Fig. 128, 129, 130 erkennen lassen, zwei Röhren in einem Stücke mit gemeinschaftlicher Scheidewand, vermindert dadurch die Zahl der Verbindungsstücke und erhöht die Haltbarkeit der Röhren, aber vergrössert freilich auch die Widerstände für den Wind durch den raschen Wechsel der Bewegungsrichtung beim Uebergange aus der einen Rohrhälfte in die andere.

Die Anordnung der Röhren wird man in jedem Falle so zu treffen suchen, dass der kalte Wind da eintritt, wo die Verbrennungsgase den Heizraum verlassen, während der erhitzte Wind in der Nähe des Verbrennungsraumes, also an der Stelle, wo die höchste Temperatur herrscht, austritt. Mit anderen Worten: die Verbrennungsgase und der Wind müssen innerhalb des Erhitzungsraumes eine entgegengesetzte Bewegungsrichtung erhalten.[1])

Als Material zu den Röhren dient Gusseisen oder in einzelnen Fällen gegossener Stahl. Man pflegt die Röhren mit Wandstärken von 15—25 mm zu giessen. Auf ihre Haltbarkeit ist die Wahl des Materials von Einfluss. Phosphorreiches Gusseisen neigt zum Zerspringen und ist deshalb zu verwerfen; ein mässiger Siliciumgehalt ist für Gusseisenröhren zwar nothwendig, um Graphitbildung zu veranlassen (weisses Eisen würde zu spröde sein), ein Ueberschuss aber ist nachtheilig. Ein von entbehrlichen Fremdkörpern thunlichst reines Eisen ist das geeignetste. Am haltbarsten pflegen sich Gusseisensorten für diesen Zweck zu erweisen, welche nicht über 0,5 Hunderttheile Phosphor, 3—3,5 Hunderttheile Gesammtkohlenstoff, 0,7—1,0 Hunderttheile Silicium, 0,5 Hunderttheile Mangan enthalten.

Haltbarer, aber erheblich kostspieliger als Gusseisen, ist guter Stahlguss.

Auch das Herstellungsverfahren in der Giesserei ist von Einfluss auf die Haltbarkeit der Röhren. Fallen z. B. die Wandstärken an verschiedenen Stellen einer und derselben Röhre ungleich aus, oder werden die noch glühenden Röhren einer einseitigen Abkühlung unterworfen, so ist leicht ein Zerspringen im Feuer die Folge davon.

Beim Aufbau empfiehlt es sich, für die der Erhitzung am stärksten ausgesetzten Stellen diejenigen Röhren auszuwählen, deren Wände am dicksten ausgefallen sind und welche die gleichmässigste Wandstärke besitzen.

Beispiele eiserner Winderhitzer.

Die Zahl der verschiedenen Formen eiserner Winderhitzer, welche seit Einführung der Winderhitzung beim Hochofenbetriebe Anwendung gefunden haben, ist sehr gross. Viele davon sind gänzlich wieder

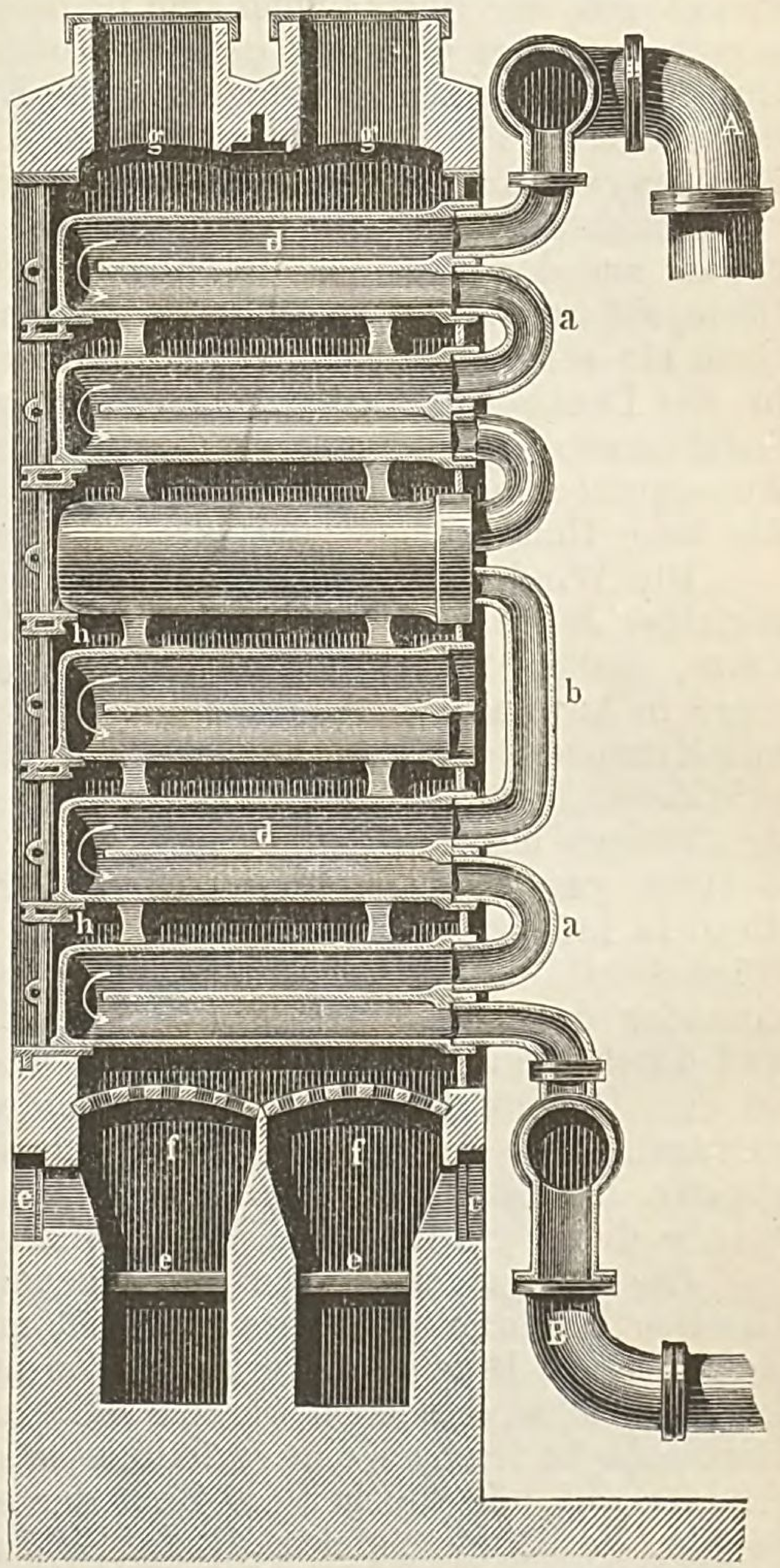
in die Fuge getrieben und muss mindestens einige Tage erhärten, ehe der Apparat angeheizt werden darf.

1) Gegenstromgesetz; vergleiche Seite 52.

ausser Benutzung gekommen; in Rücksicht auf die nur noch beschränkte Wichtigkeit, welche in jetziger Zeit die eisernen Winderhitzer besitzen, sollen in Folgendem nur solche für die Beschreibung herausgegriffen werden, welche entweder noch jetzt in verhältnissmässig häufiger Benutzung sind oder welche als Vorbilder für eine grössere Gruppe ähnlicher Winderhitzer dienen können.

Nach der Lage der Heizröhren pflegt man Winderhitzer mit liegenden, hängenden und stehenden Röhren zu unterscheiden.

Fig. 128.



a) Winderhitzer mit liegenden Röhren.

Die Abbildung Fig. 128 zeigt eine Anordnung liegender Winderhitzer, welche in den siebziger Jahren dieses Jahrhunderts gebräuchlich war.[1]) Von dem Zuleitungsrohre *A* für den kalten Wind sind vier bis sechs Rohrkrümmer abgezweigt, welche den Wind in ebenso viele parallel neben einander in derselben Heizkammer liegende Doppelröhren *dd* führen. Der Weg, welchen der Wind in den Doppelröhren nimmt, um schliesslich wieder nach stattgehabter Erhitzung sich in dem gemeinschaftlichen Rohre *B* zu vereinigen, ist in der Abbildung deutlich erkennbar. Bei *b* ist angedeutet, wie man verfahren kann, wenn aus irgend einem Grunde eine Reihe der Röhren ausgeschaltet werden soll. Den Doppelröhren pflegte man 600 bis 700 mm Höhe bei 200 bis 300 mm Breite und 2,5 bis 3 m Gesammtlänge zu geben. Ueber einander sind gewöhnlich sechs bis acht Röhren angebracht. Offenbar wird die Wärmeausnutzung günstiger sein, wenn man eine grössere Zahl Röhren über einander einlegt; aber in gleichem Maasse wachsen

1) Aus Kerl, Grundriss der Allgemeinen Hüttenkunde.

auch die Widerstände, welche der Wind zu überwinden hat. An der Rückseite sind die Röhren mit angegossener Fussplatte versehen, welche, ebenso wie die Muffe des vorderen Rohrendes, auf Eisenträgern (in der Abbildung mit *h* bezeichnet) aufruht. Man bezweckt hierdurch, die Ausdehnung und Zusammenziehung der Röhren bei wechselnder Temperatur zu ermöglichen, ohne dass sie durch Mauerwerk daran gehindert werden. Die den Röhren parallel laufenden Begrenzungen der Heizkammer sind in jedem Falle gemauert; die Stirnwände entweder ebenfalls gemauert oder, wie in der Abbildung, aus Gusseisenplatten zusammengefügt. Die Krümmlinge lässt man gewöhnlich nicht, wie bei dem abgebildeten Winderhitzer, in die freie Luft hinausragen, sondern man schützt sie durch eine zweite, äussere Wand vor Abkühlung. *ff* sind Verbrennungskammern, in welche die Gase bei *cc* aus der hier nicht mit abgebildeten Leitung eintreten; *ee* sind Roste, auf welchen zur sofortigen Wiederentzündung der etwa erloschenen Gase ein schwaches Kohlenfeuer unterhalten wird. Durch Oeffnungen in der Decke der Verbrennungskammern gelangen die Gase in die Heizkammer, von hier durch die beiden Auslasse *gg* in's Freie. Die Anordnung einer besonderen Esse pflegt nicht erforderlich zu sein, da die hohe Heizkammer selbst als solche wirkt.

Die Winderhitzer mit liegenden Röhren wurden seit Anfang der fünfziger Jahre bis etwa gegen Ende der siebziger Jahre häufig benutzt, und in manchen Bezirken fand man Jahrzehnte hindurch nur diese in Anwendung. Ursprünglich bestanden sie aus einfachen Röhren mit Krümmern an jeder Seite; erst gegen 1870 ging man zu der abgebildeten Form mit Doppelröhren über. Alle Winderhitzer mit liegenden Röhren besitzen den Vortheil, dass die aufsteigenden Gase rechtwinklig gegen die Röhren treffen und somit ihre Einwirkung auf diese in kräftigster Weise geltend machen können; sie gewähren die Möglichkeit, durch Anordnung einer reichlichen Zahl Röhren über einander den Gasen den grössten Theil ihrer Wärme zu entziehen, und durch die allmähliche Bewegung des Windes von oben nach unten ist dem Gegenstromgesetze in ziemlich vollständiger Weise Rechnung getragen. Die Ausnutzung der Wärme ist demnach verhältnissmässig günstig, der Brennstoffverbrauch gering; und hierin beruht der Hauptvorzug dieser Gattung von Winderhitzern.

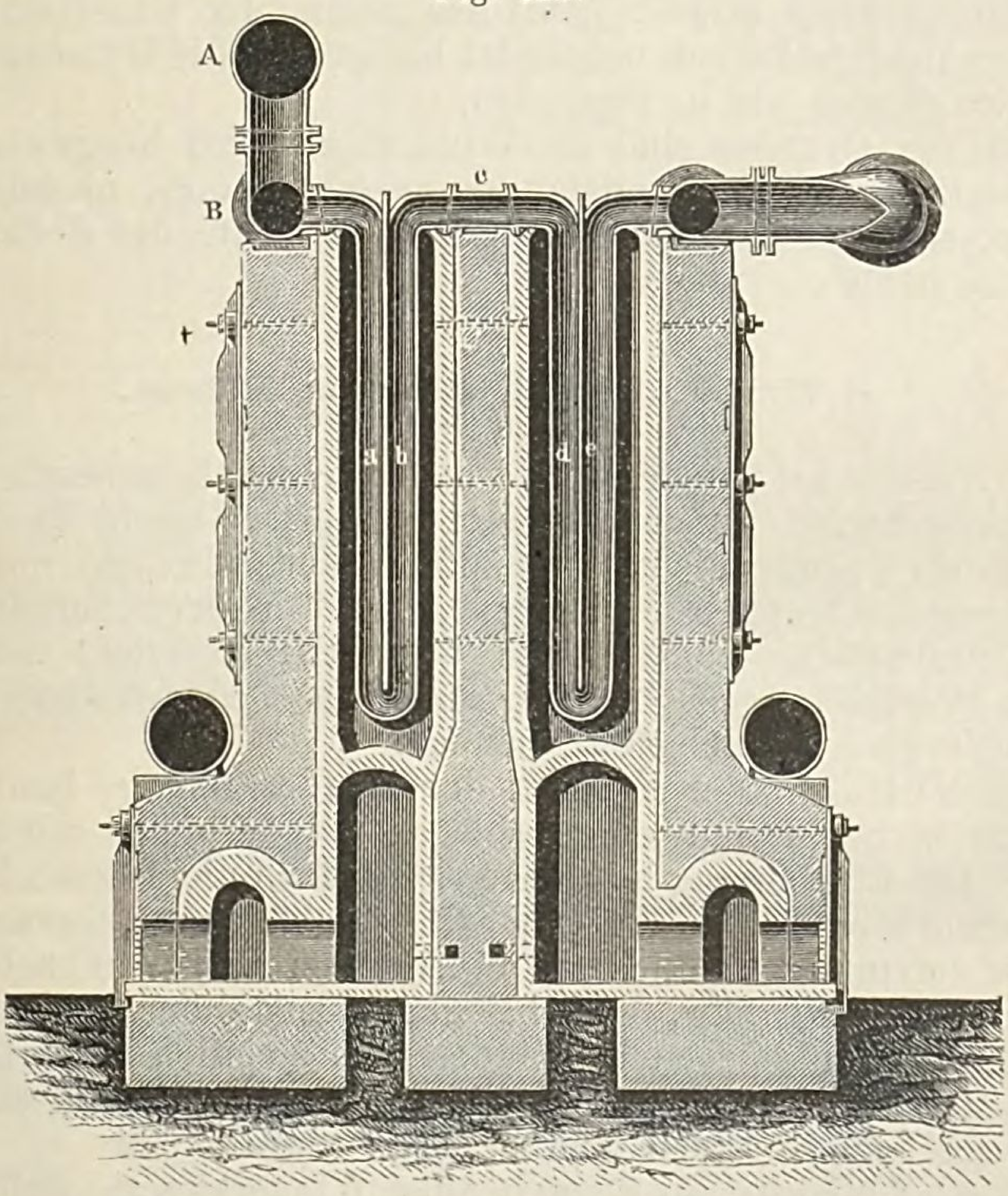
Die Länge der Röhren der liegenden Winderhitzer darf aber ein ziemlich beschränktes Maass (2,5 bis 3 m) nicht übersteigen, wenn die Gefahr eines Bruches im erhitzten Zustande unter dem Drucke ihres Eigengewichts vermieden werden soll; zur Erzielung einer bestimmten Heizfläche ist demnach eine verhältnissmässig grosse Zahl gerader Röhren erforderlich, mit welcher die Zahl der erforderlichen Krümmlinge im geraden Verhältnisse steht. Mit der Zahl der Krümmlinge aber wachsen die Anlagekosten und die Widerstände, welche der Wind bei seiner Fortbewegung zu überwinden hat; die liegenden Winderhitzer sind daher verhältnissmässig kostspielig und machen einen hohen Kraftaufwand der Gebläsemaschine erforderlich. Aus diesen Gründen sind sie seit Anfang der achtziger Jahre seltener geworden und in der Jetztzeit nur noch vereinzelt anzutreffen.

b) Winderhitzer mit hängenden Röhren.

Bei der Einrichtung dieser Form von Winderhitzern ging man von der Voraussetzung aus, dass, wenn die Erhitzungsröhren frei in den Heizraum von oben her eingehängt seien und sich demnach frei ausdehnen und zusammenziehen könnten, sie dem Reissen verhältnissmässig wenig unterworfen sein würden.

Man benutzte Doppelröhren, welche oberhalb des Heizraumes durch Krümmer verbunden waren. Fig. 129 lässt wenigstens die allgemeinere

Fig. 129.



Anordnung dieser Winderhitzer erkennen, wenn auch die Anordnung im Besonderen bei verschiedenen Anlagen nicht immer gleich war. Von dem Hauptwindleitungsrohre *A*, welches mehreren einzelnen Winderhitzern den Wind zuführt, geht das Vertheilungsrohr *B* aus, und von diesem sind nun mehrere, gewöhnlich vier, parallele Röhrstränge abgezweigt, welche durch eine gemeinschaftliche Heizkammer hindurchführen. Letztere ist oben durch Eisenplatten abgedeckt, welche sich genau um die einzelnen Heizrohre herumlegen und auf angegossenen Vorsprüngen an den Rohren ruhen, während die Krümmer sich oberhalb befinden. Die Gase kommen von unten in die Kammer, steigen

empor und entweichen oben durch Schlitze in den Seitenwänden nach abwärts führenden Essenkanälen.

Die Erwartungen, welche man auf die Anwendung hängender Röhren für die Winderhitzung setzte, haben sich nicht erfüllt. Das frei hängende Rohr wird durch sein eigenes Gewicht auf Zerreissungsfestigkeit in Anspruch genommen; ist einmal ein Riss entstanden, so erweitert er sich zusehends, während er bei den sogleich zu besprechenden stehenden Winderhitzern durch das Gewicht des oberen Rohrstückes zusammengedrückt wird und unter Umständen längere Zeit bestehen kann, ohne dass ein erheblicher Windverlust dadurch herbeigeführt wird. Mit den liegenden Winderhitzern theilen die hängenden den Nachtheil, dass die Krümmer ausserhalb des Feuers liegen, dass also ein verhältnissmässig grosser Theil des gesammten Gusseisengewichtes für den eigentlichen Zweck unbenutzt bleibt, und die Wärmeausnutzung ist weniger günstig als in liegenden.

Aus diesen Gründen sind die Winderhitzer mit hängenden Röhren in der Jetztzeit ziemlich vollständig verschwunden, nachdem sie im Laufe der sechziger und noch bis gegen die Mitte der siebziger Jahre nicht selten benutzt wurden.

c) Winderhitzer mit stehenden Röhren.

Der Wind wird in senkrecht oder schwach geneigt stehenden Röhren abwechselnd auf und nieder geführt. Geschieht diese Auf- und Abwärtsbewegung nicht innerhalb je eines einzigen mit Scheidewand versehenen Doppelrohres, sondern sind je zwei oben durch einen Krümmer verbundene Röhren dafür bestimmt, so pflegt man die betreffenden Vorrichtungen Hosenröhren- oder Syphon-Winderhitzer (syphon = Heber) zu nennen.

Schon Neilson, der Erfinder der Winderhitzung, baute auf der Calderhütte in Schottland einen solchen Winderhitzer mit stehenden Röhren.[1]) Die Einrichtung bewährte sich jedoch nicht besonders. Man wählte Hosenröhren, deren Krümmer der Stichflamme ausgesetzt waren und häufig zersprangen; auch spätere Formen hatten zunächst keinen wesentlich bessern Erfolg, und bis gegen Ende der sechziger Jahre blieb die Anwendung stehender Winderhitzer ziemlich beschränkt. Erst seit jener Zeit hat man gelernt, die Anordnung der Röhren so zu wählen, dass der frühere Uebelstand beseitigt wurde.

Die jetzt üblichste Form stehender Winderhitzer, welche zuerst auf Clevelander Eisenwerken zur Anwendung kam, ist durch die Abbildungen Fig. 130 und 131 veranschaulicht.[2]) Der Winderhitzer besteht aus Doppelröhren, welche unter einander durch Fusskästen mit Muffen verbunden sind.

Der von rechts kommende kalte Wind wird vor dem Eintreten in die Heizkammer wie bei allen eisernen Winderhitzern in mehrere

1) Näheres hierüber: Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abtheilung II, Seite 100.

2) Zeitschr. f. Berg-, Hütten- und Salinenwesen in Preussen, Band XXX, Texttafel f.

— im vorliegenden Falle drei — parallele Rohrstränge vertheilt. Jedes Winderhitzungsrohr enthält ausser der mittleren Scheidewand noch je

Fig. 130.

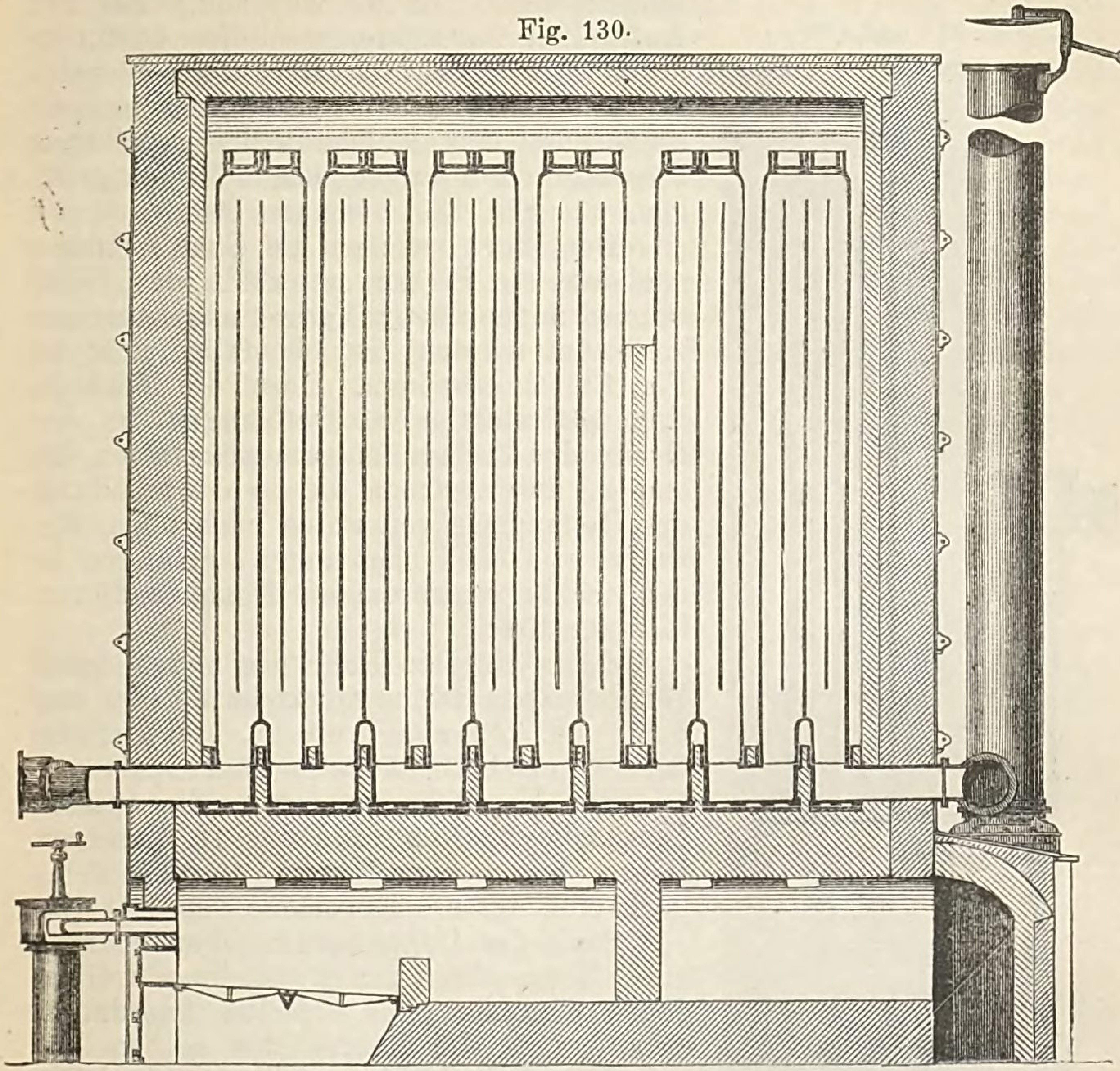
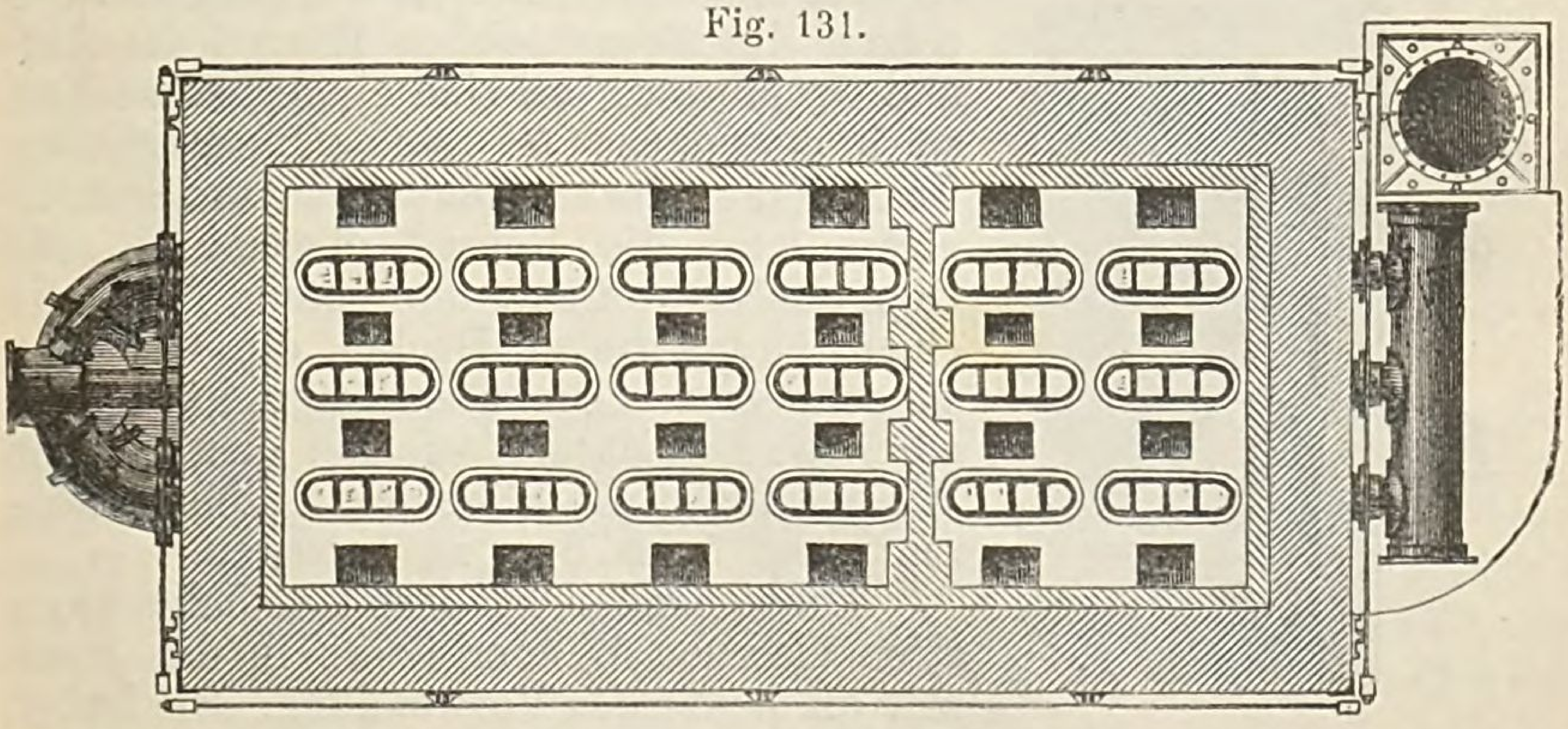


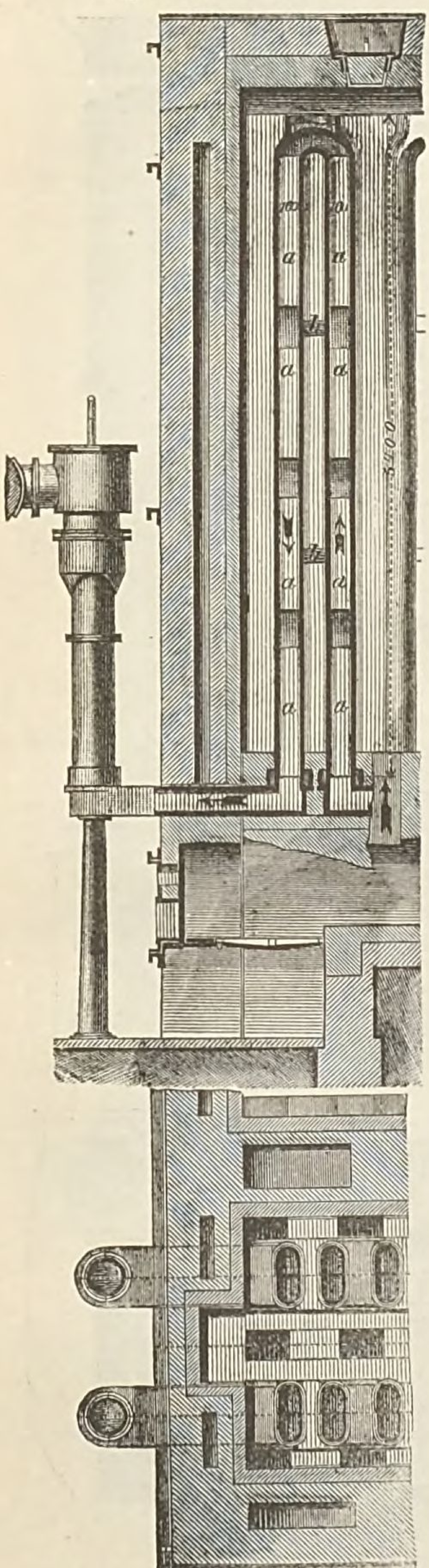
Fig. 131.



eine eingegossene Verstärkungsrippe in jeder der beiden Rohrhälften um die Standfestigkeit zu erhöhen.

Wegen der bequemeren Herstellung und der leichteren Vermeidung von Spannungen sind die Erhitzungsröhren am Scheitel offen und mit aufgegossenem Rande versehen. Bei der Aufstellung der Röhren wird diese Oeffnung durch zwei eingekittete Deckel geschlossen. Am unteren Ende läuft jedes Rohr in zwei kurze Füsse aus, welche in dem erwähnten Fusskasten mit aufgegossenen Muffen endigen, wie Fig. 130 erkennen lässt.

Fig. 132 und 133.



Der Weg, welchen die Gase nehmen, nachdem sie in der unterhalb des Heizraumes angeordneten Verbrennungskammer verbrannt wurden, ist ebenfalls leicht in Fig. 130 zu erkennen. Durch die (auch in Fig. 131 sichtbaren) Oeffnungen in der Decke des Verbrennungsraumes steigen sie empor, durchströmen die erste Abtheilung des Heizraumes von unten nach oben, die zweite von oben nach unten, gelangen in den rechts angeordneten Kanal und von hier zur Esse.

Jedes einzelne Rohr des abgebildeten Winderhitzers ist im Querschnitte 650 mm lang und 240 mm breit im Lichten; die freie Querschnittsfläche beträgt 0,1436 qm. Die Höhe der Rohre ist 5,65 m, die äussere Heizfläche 8,89 qm. Ein aus 18 einzelnen Röhren bestehender Winderhitzer hat demnach eine äussere Heizfläche von 160 qm.

Statt der Doppelröhren kommen mitunter Hosenröhren zur Anwendung, welche gegen einander ganz dieselbe Anordnung erhalten als die Röhren des soeben besprochenen Winderhitzers. Fig. 132 und 133 zeigen die Form solcher Röhren im Auf- und Grundrisse. *a a* sind eingegossene Verstärkungsrippen; *b b* sind Querstege zur Versteifung der Schenkel. Am Scheitel giesst man die Röhren ebenso wie die Doppelröhren offen, um später durch je einen eingekitteten Deckel die Oeffnung zu schliessen. Die Fusskästen haben die nämliche Einrichtung wie bei dem vorigen Winderhitzer; die Höhe der einzelnen Röhren pflegt 5 bis 6 m zu betragen.

Die stehenden Winderhitzer finden unter allen eisernen Winderhitzern in der Jetztzeit am häufigsten Verwendung. Sie haben vor den liegenden den Vortheil geringerer Anlagekosten bei gleicher Heizfläche voraus, da sie fast vollständig im Feuer zu liegen pflegen

und jedenfalls das Verhältniss der erhitzten Theile zu den ausserhalb des Feuers befindlichen günstiger ist als bei jenen. Da die Muffen der Fussröhren nicht unmittelbar der Stichflamme preisgegeben sind, ist die Gefahr des Undichtwerdens nicht gross, auch wenn diese Fussröhren im Heizraume selbst angeordnet sind. Die Haltbarkeit der Röhren ist bei den besprochenen Anordnungen grösser als bei den liegenden, welche auf Biegung in Anspruch genommen sind. Dass die hängenden Röhren noch weniger als diese sich bewährt haben, wurde schon erwähnt. Die Länge der einzelnen Röhren ist in Rücksicht auf ihre senkrechte Stellung weniger beschränkt als bei den liegenden; je länger aber die geraden Röhren sind, desto geringer ist bei gegebener Heizfläche die Zahl der Rohrkrümmer, welche die Bewegung des Windes erschweren und hierdurch Pressungsverluste hervorrufen.

Die Vortheile sind bedeutend genug, um die häufigere Anwendung der stehenden Winderhitzer zu erklären.

Die steinernen Winderhitzer.

Die allgemeine Einrichtung dieser Winderhitzer wurde schon oben besprochen. Der Umstand, dass ein Theil der gesammten, in einer der Kammern aufgespeicherten Wärme das Mittel zur Erhitzung des Windes bildet, erklärt es, dass, je längere Zeit der Wind hindurch geht und je kleiner der Inhalt der Kammer ist, um so mehr die Temperatur des austretenden Windes sich verringern wird; es muss deshalb zur Vermeidung erheblicher Temperaturschwankungen um so öfter gewechselt werden, je kleiner die Winderhitzer sind.

Unter der Voraussetzung, dass die inneren Theile der Kammer gleich stark erhitzt sind, würde sich die Abkühlung berechnen lassen, welche der Wind innerhalb eines gewissen Zeitraumes erfährt. So z. B. enthielt nach Gruner [1]) ein derartiger Winderhitzer, welcher dazu bestimmt war, 180 cbm Luft in der Minute oder 10 800 cbm = 13 390 kg Luft in der Stunde zu erhitzen, 134 cbm = 241 000 kg feuerfeste Ziegeln. Soll der Wind auf 800 Grad Celsius erwärmt werden, so sind dafür, sofern man die spezifische Wärme der gewöhnlichen, etwas feuchten Luft = 0,239 annimmt, $13\,390 \times 800 \times 0{,}239 = 2\,557\,490$ W.-E. erforderlich, welche von den Ziegeln abgegeben werden müssen. Bei einer spezifischen Wärme der heissen Ziegeln = 0,23 würde mithin ihre Abkühlung sein:

$$\frac{2\,557\,490}{241\,000 \times 0{,}23} = 46 \text{ Grade.}$$

In Wirklichkeit jedoch ist der Vorgang etwas anders. An der Stelle, wo die Gase eintreten und verbrennen, werden die Ziegeln stärker erhitzt sein, d. h. mehr Wärme aufgenommen haben als da, wo die Gase den Winderhitzer verlassen; den zu erhitzenden Wind aber führt man in allen Fällen, dem Gegenstromgesetze gemäss, an der am wenigsten heissen Stelle, also da, wo die Gase aus-

1) Gruner-Kupelwieser, Abhandlungen über Metallurgie, Band I, Seite 411.

treten, ein und lässt ihn den entgegengesetzten Weg als diese nehmen. An der Eintrittsstelle des Windes werden demnach die Ziegeln schon von vornherein weniger heiss sein und durch den kalten Wind verhältnissmässig stark abgekühlt werden, während sie an dem entgegengesetzten Ende, wo sie nur mit dem schon hoch erhitzten Winde in Berührung kommen, verhältnissmässig wenig Wärme abgeben.

Es ist jedoch auch leicht zu ermessen, dass für die Leistung eines steinernen Winderhitzers nicht allein der räumliche Inhalt der in ihm angeordneten, als Wärmesammler dienenden feuerfesten Ziegeln maassgebend ist, sondern dass auch die von ihnen dargebotene Oberfläche eine wesentliche Rolle hierbei spielt. Denn immerhin wird an der Oberfläche der Ziegeln die stärkste Erhitzung stattfinden, und je weiter irgend eine Stelle davon entfernt ist, desto weniger hoch wird sie erhitzt werden und desto langsamer wird sie ihre Wärme abgeben. Die zur Erhitzung einer bestimmten Windmenge erforderliche Heizfläche muss bei den steinernen Winderhitzern entschieden beträchtlicher ausfallen als bei den eisernen, theils, weil ja nur die Hälfte der gesammten Heizfläche innerhalb eines und desselben Zeitraumes zur Wärmeabgabe benutzt werden kann und die andere Hälfte inzwischen erhitzt wird, theils auch, weil man die steinernen Winderhitzer überhaupt nur dann anzuwenden pflegt, wenn eine stärkere Erhitzung beabsichtigt ist, als sich in den eisernen erreichen lässt. Man giebt daher für je 1 Cubikmeter Wind in der Minute den zusammengehörigen Winderhitzern eine Gesammtheizfläche von mindestens 15 Quadratmeter, häufiger 20 qm und darüber.[1])

Die Geschwindigkeit des durch den Heizraum hindurchgehenden Windes ist in allen Fällen erheblich geringer als bei den eisernen Winderhitzern, ein Umstand, welcher schon durch die grösseren Reibungswiderstände geboten ist. Bei den meisten steinernen Winderhitzern beträgt die Geschwindigkeit des kalten Windes 1,5 bis höchstens 2 m in der Secunde, des erhitzten Windes 5 bis 8 m.

Sämmtliche Winderhitzer sind äusserlich durch einen luftdicht genieteten cylindrischen Mantel aus Eisenblech umgeben, ohne welchen es nicht möglich sein würde, beträchtliche Windverluste zu vermeiden und dem Ganzen den erforderlichen Halt zu verleihen. Zwischen Mantel und Steinfüllung bleibt ein Zwischenraum von 40 bis 50 mm Breite, um der Ausdehnung der Steine Raum zu geben. Da sich in den Zügen Staub ablagert, welcher von den Gichtgasen mitgeführt wurde, sind Vorrichtungen unentbehrlich, durch welche von Zeit zu Zeit eine Reinigung vorgenommen werden kann; im Uebrigen ist gerade bei den steinernen Winderhitzern die Benutzung möglichst staubarmer Gase wünschenswerth, und verschiedene der in der Neuzeit eingeführten Verbesserungen der Gasreiniger sind durch das Bestreben veranlasst worden, die Gichtgase für die Heizung der steinernen Winderhitzer benutzbar zu machen.

Als Material für die Aufnahme der von den verbrennenden Gasen

1) „Stahl und Eisen" 1883, Seite 242 (Steffen). In der hier angezogenen Abhandlung ist auch der Versuch gemacht, die erforderliche Heizfläche theoretisch zu berechnen; ebenso in H. Wedding, Zweiter Ergänzungsband zur Eisenhüttenkunde, Braunschweig 1887, Seite 233.

entwickelten Wärme dienen ausschliesslich feuerfeste Ziegeln, mit denen die Kammern in geeigneter Weise ausgesetzt und aus denen die von den Gasen durchströmten Kanäle gebildet werden.

Aus der Wirkungsart der steinernen Winderhitzer folgt, dass in jedem Falle mindestens zwei solcher sich gegenseitig ergänzender Winderhitzer erforderlich sind, und sofern ihre Grösse mit der Menge des zu erhitzenden Windes im Einklange steht, würden sie allerdings ausreichend sein, auch den für einen grossen Hochofen erforderlichen Wind zu erhitzen. Thatsächlich hat man auf einzelnen Werken zwei Winderhitzer für einen Ofen genügend befunden. Immerhin aber ist bei der Anlage auf den schon erwähnten Umstand Rücksicht zu nehmen, dass nicht allein von Zeit zu Zeit Ausbesserungen erforderlich werden können, sondern dass auch innerhalb gewisser Zeiträume eine Reinigung von angesetztem Gichtstaube nothwendig wird, für welche die Winderhitzer gewöhnlich einige Tage hindurch der Benutzung entzogen werden müssen. Die Erfahrung hat ferner gelehrt, dass es zur Ersparung an Brennstoff zweckmässig sei, eine grössere Heizfläche zur Wärmeaufnahme als zur Wärmeabgabe zu benutzen. Häufiger ordnet man daher für einen Hochofen drei Winderhitzer an, von welchen zwei im Feuer und einer unter Wind stehen; bei grösserem Windbedarfe (für zwei Hochöfen) fünf, von denen drei geheizt werden, während zwei die Wärme abgeben u. s. f.

Die ersten Versuche, steinerne Winderhitzer für den Hochofenbetrieb anzuwenden, wurden im Jahre 1860 durch Cowper auf der Ormesbyhütte in Cleveland gemacht. Die Cowper-Winderhitzer der ersten Jahre litten jedoch an verschiedenen erheblichen Mängeln. Die zur Aufnahme der Wärme bestimmten Ziegeln waren in gleicher Weise als in den Wärmespeichern der Siemensschen Oefen angeordnet; eine Reinigung von aussen war unmöglich, und die sämmtlichen Steine mussten bei den häufig erforderlichen Reinigungen aus dem Heizraume entfernt werden. Die an den verschiedenen Zu- und Ausgangsrohren angebrachten Schieber oder Ventile aber wurden infolge der starken Erhitzung und der Ablagerung von Gichtstaub bald undicht und versagten den Dienst. So kam es, dass man, wenigstens auf dem Festlande, mehrere Jahre hindurch die bereits eingeführten Cowper-Winderhitzer wieder kalt legte und zu den eisernen Winderhitzern zurückkehrte.

Erst um das Jahr 1870 waren die Hauptschwierigkeiten überwunden, theils durch Cowper selbst, theils durch Thomas Whitwell in Stockton on Tees, welcher sich neben Cowper anerkennungswerthe Verdienste um die Vervollkommnung der steinernen Winderhitzer und ihre Einführung beim Hochofenbetriebe erworben hat. Seit jener Zeit haben die steinernen Winderhitzer eine von Jahr zu Jahr zunehmende Bedeutung erlangt und die bis dahin fast allein angewendeten eisernen Winderhitzer allmählich zum grösseren Theile verdrängt.

Alle wichtigeren, in der Jetztzeit angewendeten steinernen Winderhitzer lassen sich ihrer Einrichtung gemäss theils auf die von Whitwell theils auf die von Cowper eingeführten Formen zurückführen. Erstere mögen zunächst beschrieben werden, weil sie früher als die Cowper-Winderhitzer allgemeinere Benutzung fanden und in der That

bahnbrechend für die Einführung des neueren Verfahrens der Winderhitzung gewesen sind.

Die Whitwell-Winderhitzer und ihre Abarten.

Die ersten Whitwell-Winderhitzer wurden 1869 gebaut; auf dem Festlande fanden sie vorzugsweise seit 1873 Eingang, nachdem die

Fig. 134.

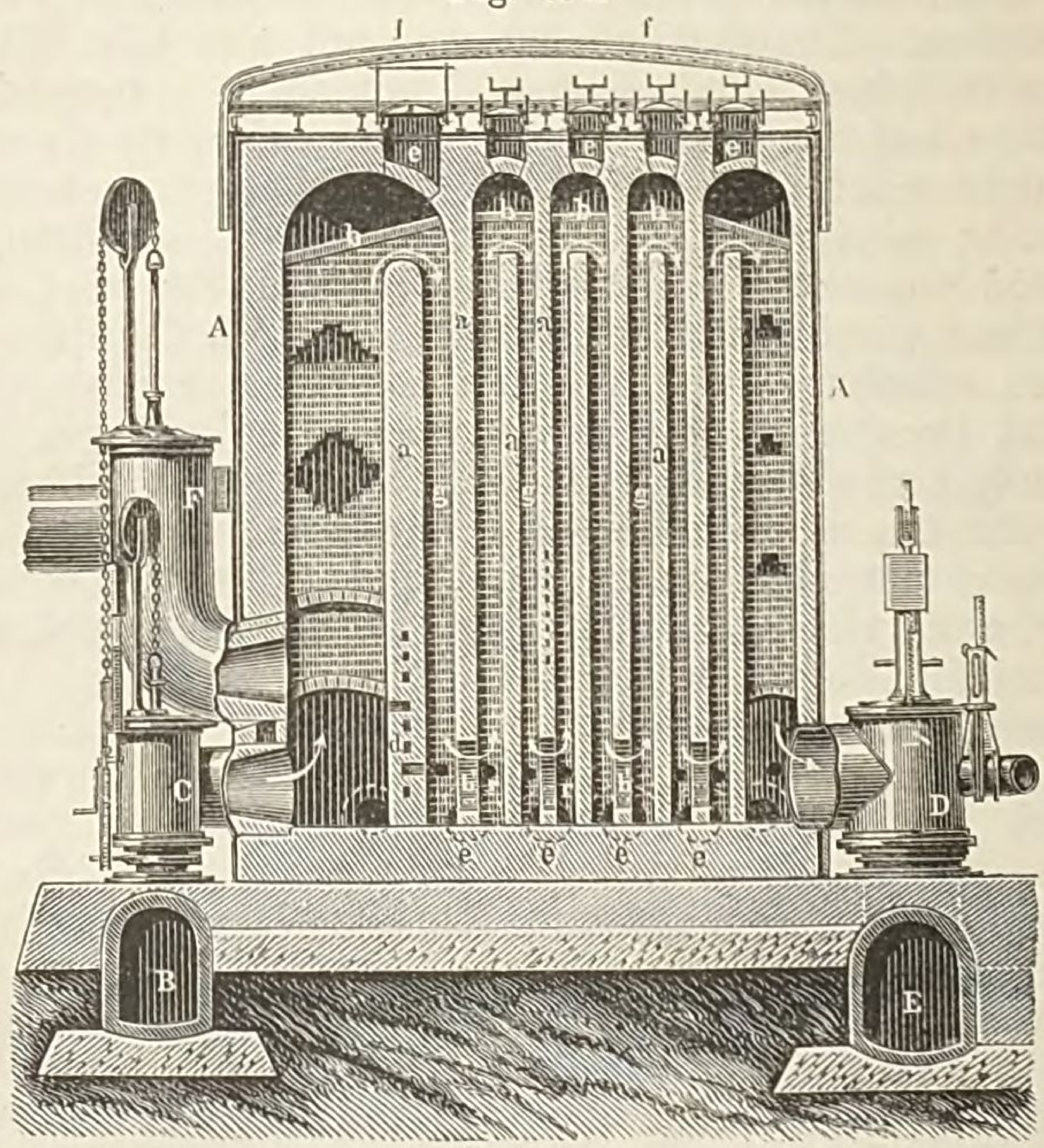
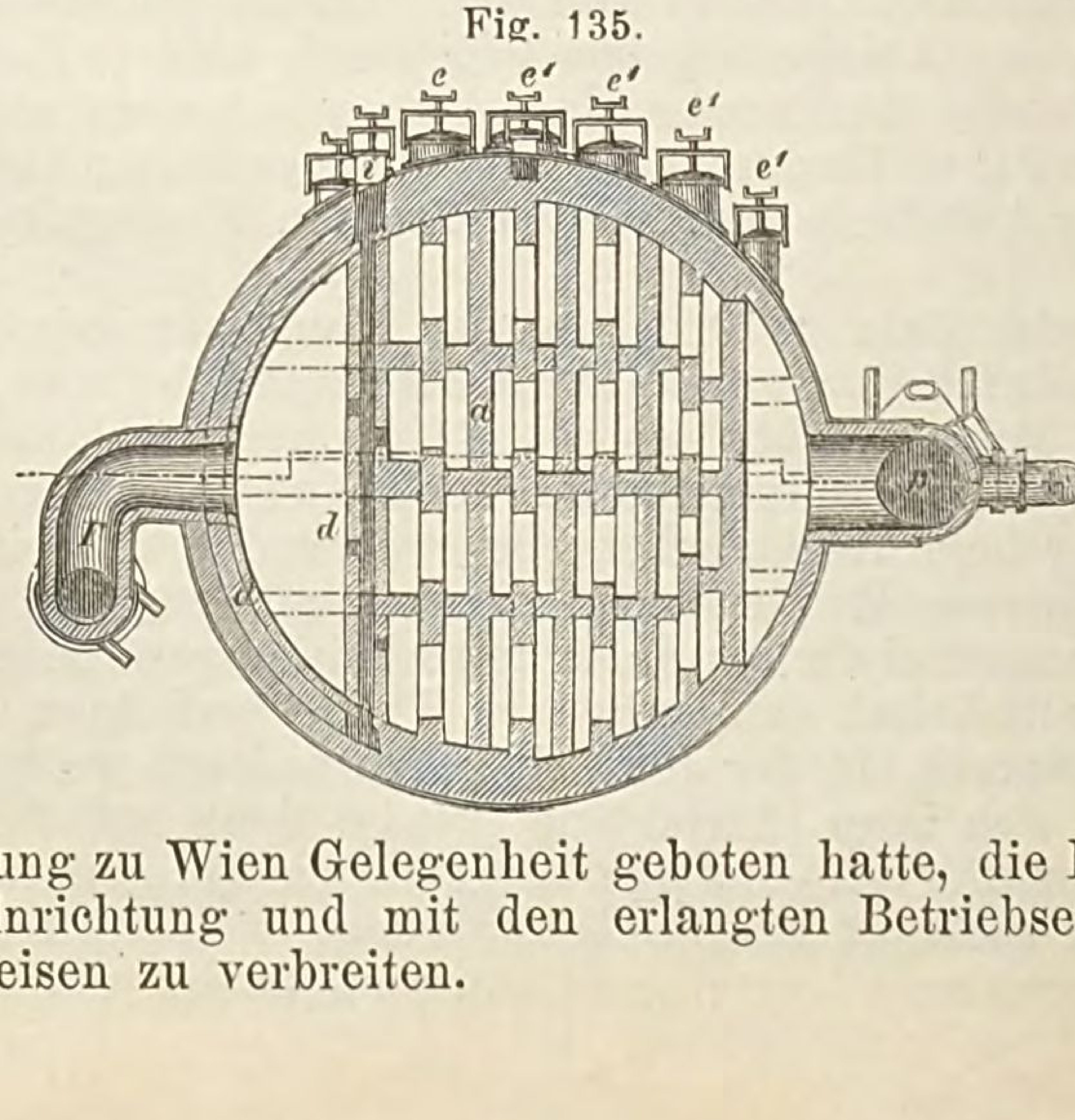


Fig. 135.



Weltausstellung zu Wien Gelegenheit geboten hatte, die Bekanntschaft mit ihrer Einrichtung und mit den erlangten Betriebsergebnissen in weiteren Kreisen zu verbreiten.

Einer der älteren Whitwell-Apparate, welche bis zum Jahre 1876 in ziemlich grosser Zahl gebaut wurden und noch heute hier und da in Benutzung sind, ist in Fig. 134 und 135 in $^1/_{150}$ der wirklichen Grösse abgebildet. Die zum Heizen bestimmten Gase treten aus dem Kanale *B* durch das Ventil *C* in den Heizraum und werden hier durch Zuführung atmosphärischer Luft verbrannt, welche durch die verschliessbare Oeffnung *i* (Fig. 135) zunächst in Kanäle innerhalb des Mauerwerkes gelangt, um hier vorgewärmt zu werden, und dann erst durch wagerechte Oeffnungen in den Heizraum eintritt. Wie Fig. 134 erkennen lässt, ist auch in der vierten Scheidewand *a* eine abermalige Luftzuführung angeordnet.

Durch die Scheidewände *aa* . . , welche abwechselnd oben und unten mit Durchgangsöffnungen versehen sind, werden nun die Gase gezwungen, fünf Mal aufwärts und ebenso oft abwärts zu ziehen, um schliesslich durch das Ventil *D* nach dem Essenkanale *E* zu entweichen. Drei parallele Querwände *bb* dienen theils dazu, den Wänden *a* eine grössere Haltbarkeit zu verleihen, theils auch zur Vergrösserung der Heizfläche. Durch Oeffnungen in diesen Querwänden, welche in Fig. 134 sichtbar sind, stehen die einzelnen Abtheilungen mit einander in Verbindung.

Nach erfolgter Erhitzung des Winderhitzers werden die Gasventile geschlossen und der kalte Wind durch das an der Rückseite von *D* befindliche, mit Schieber versehene Rohr zugeleitet. Nachdem er in entgegengesetzter Richtung als zuvor die Gase den Apparat durchströmt hat, tritt er durch das Ventil *F* aus, um dem Hochofen zugeführt zu werden.

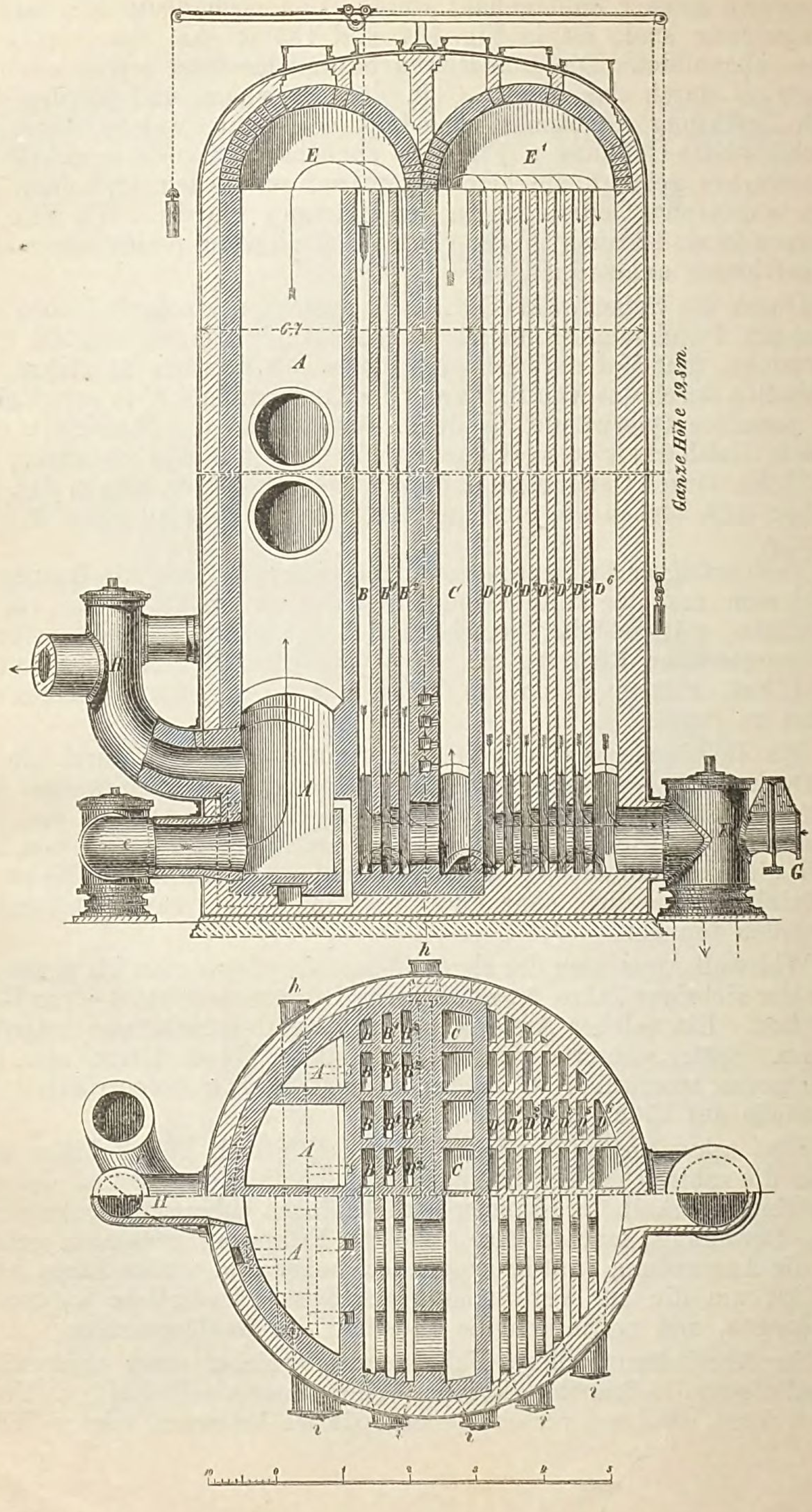
Die Reinigung von angesetztem Staube geschieht durch die in der Decke angebrachten Verschlüsse *ee*, und zwar von aussen her, da jeder einzelne Kanal von aussen zugänglich ist; der von den Wänden abgekehrte Staub sammelt sich am Boden und wird von hier durch die Verschlüsse $e_1 e_1$ (Fig. 135) entfernt. Auf diese Weise ist die Reinigung möglich, ohne dass der Winderhitzer zuvor kalt gelegt zu werden braucht.

Whitwell-Apparaten der abgebildeten Art pflegte man bis gegen die Mitte der siebziger Jahre 6,7 m äusseren Durchmesser bei 8—9 m Höhe zu geben. Ein solcher Apparat besitzt eine Heizfläche von ungefähr 800 qm. Später steigerte man die Höhe dieser Winderhitzer, ohne den Durchmesser wesentlich zu ändern, bis auf 18 m und vergrösserte die Heizfläche auf 1500 – 1600 qm.

Eine schwache Seite dieser älteren Whitwell-Winderhitzer aber bilden die zahlreichen Krümmungen, welche die Heizgase und der Gebläsewind innerhalb der Kammer zurückzulegen haben. Sie erschweren deren Bewegung, machen also, wie die Erfahrung genugsam gelehrt hat, die Anwendung kräftig saugender, hoher und weiter Essen nothwendig, um die zur Verbrennung der Gase erforderliche Luftmenge anzusaugen, und verringern die Pressung des Gebläsewindes.

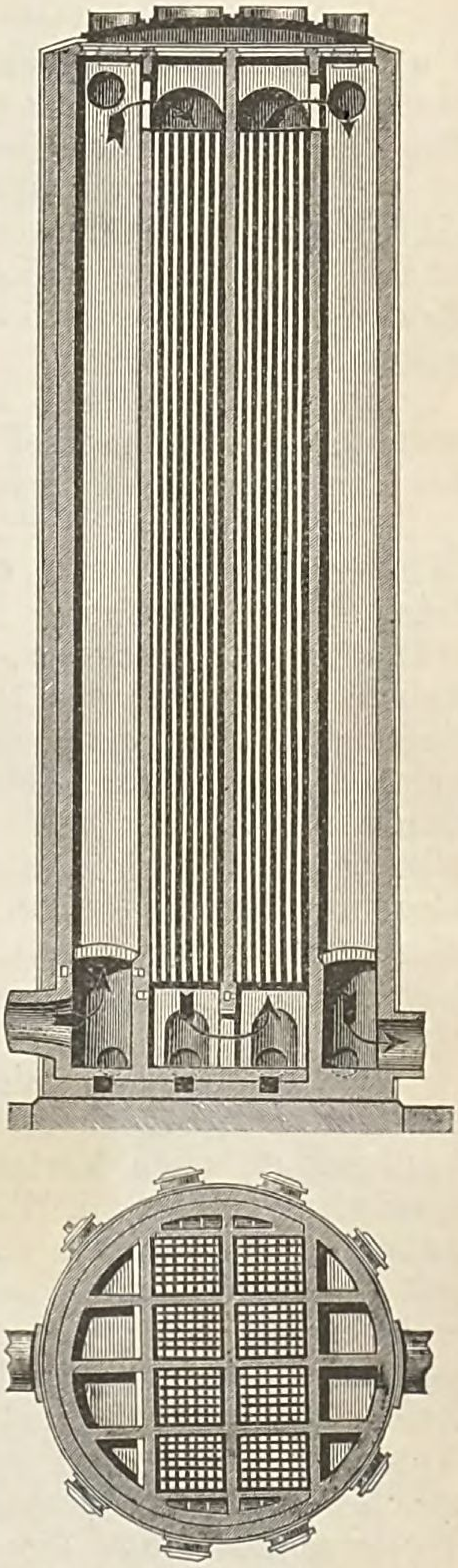
Zur Abminderung dieses Uebelstandes, welcher unter ungünstigen Verhältnissen die Brauchbarkeit des Winderhitzers vollständig in Frage stellen kann, sind von verschiedenen späteren Erbauern solcher Wind-

Fig. 136 und 137.



erhitzer Aenderungen eingeführt worden, welche sämmtlich das Ziel verfolgen, die Zahl der Krümmungen zu verringern, zugleich aber die Heizfläche so viel als thunlich zu vergrössern. So z. B. gab William Whitwell (nach dem Tode Thomas Whitwells) den Apparaten die in Fig. 136 und 137 abgebildete Form. Die aus *e* kommenden Gase steigen zunächst in dem weiten Kanale *A*, in dessen unterem Theile sie mit Luft gemischt werden, auf, vertheilen sich dann in die drei abwärts führenden Züge $B B_1 B_2$, vereinigen sich unten wieder, um in dem breiteren Kanale *C* emporzusteigen, und wenden sich oben wiederum abwärts, um in sieben Zügen $D D_1$. . . nach dem Ausgangsventile *F* hin geführt zu werden. Die Gebläseluft tritt bei *G* ein und entweicht an der gegenüberliegenden Seite durch das Rohr *H*. Zugleich wurde die Wandstärke der Scheidewände von 0,22 m auf 0,13 m vermindert, wodurch eine Vermehrung ihrer Zahl ohne Vergrösserung des Durchmessers des Winderhitzers möglich wurde.

Fig. 138 und 139.



An Stelle der neun Krümmungen, welche die Gase und Luft in den älteren Winderhitzern zu überwinden hatten, sind in diesem verbesserten Apparate drei getreten, ein Umstand, welcher nicht ohne Nutzen für seine Wirkung bleiben kann; die Heizfläche aber ist durch Einschaltung zahlreicherer Querwände (sieben statt drei) nicht unerheblich vergrössert und beträgt bei einem Apparate von der abgebildeten Grösse (6,7 m Durchmesser, 19,8 m Höhe) ungefähr 2400 qm.

Auch bei einem von Macco erbauten, in Fig. 138 und 139 abgebildeten Winderhitzer[1]) liegt das Bestreben zu Grunde, den Weg der Gase abzukürzen und trotzdem die Heizfläche zu vergrössern. Die Gase gehen nur zweimal auf- und zweimal abwärts; die beiden mittleren Abtheilungen aber sind, ganz ähnlich wie bei den unten besprochenen Cowper-Winderhitzern, derartig mit Steinen in Verband ausgesetzt, dass zahlreiche senkrechte Kanäle von nur ungefähr 150 bis 200 mm Weite (im Geviert) entstehen, welche den hindurchziehenden Gasen und dem Winde eine beträchtliche Berührungsfläche darbieten. Die Verbrennungsluft wird durch Kanäle, welche in Figur 138 erkennbar sind, im Boden und der

1) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1886, Seite 524. Ueber eine neuere Anordnung der Maccoschen Winderhitzer vergleiche dieselbe Zeitschrift 1888, Seite 183.

Wand des Verbrennungsraumes hindurchgeführt, um vorgewärmt zu werden. Für die Entfernung des von oben her niedergestossenen Staubes sind am Boden ebensolche Oeffnungen wie bei den früher besprochenen Whitwell-Winderhitzern angebracht.[1])

Die Cowper-Winderhitzer und ihre Abarten.

Von den Whitwell-Winderhitzern unterscheiden sich die nach Cowpers Erfindung gebauten vornehmlich dadurch, dass in ihnen die Gase und der Wind sich nur einmal auf- und einmal abwärts bewegen. Die Verbrennung der Gase findet in einem schachtartigen Kanale statt, in welchem sie aufsteigen; alsdann vertheilen sie sich in zahlreiche (800 bis 900) Kanäle von verhältnissmässig engem Querschnitte, um in ihnen abwärts zu strömen und dann den Winderhitzer zu verlassen. Der Wind nimmt, nachdem Umschaltung stattgefunden hat, den entgegengesetzten Weg.

Bei den seit 1870 eingeführten Cowper-Apparaten liegt der erwähnte Verbrennungsschacht an der einen Seite des innern Raumes; bei den älteren Winderhitzern war er in der Mitte angeordnet.[2])

Die Abbildungen Fig. 140 bis 142 zeigen einen solchen Cowper-Winderhitzer der jetzt üblichen Form. *a* ist das Zulassrohr für das Gas, *b* eine Oeffnung für den Zutritt der Verbrennungsluft. Vorwärmung der letzteren, wie bei den Whitwell-Apparaten, ist nicht üblich. Innerhalb des 1600 mm weiten, etwa 19 m hohen Schachtes findet die Verbrennung statt. Die Verbrennungsgase ziehen durch die erwähnten, in den Abbildungen erkennbaren Kanäle abwärts, um durch das Rohr *c* nach der Esse zu entweichen. Der kalte Wind tritt bei *d* ein, der erhitzte Wind bei *e* aus. Die Ziegeln, welche die einzelnen Kanäle bilden, ruhen auf Gusseisengittern (Fig. 142 zeigt diese Gitter von oben), welche von gusseisernen Füssen getragen werden. Die Kanäle des abgebildeten Winderhitzers sind 150 mm im Geviert weit bei 55 mm Wandstärke.

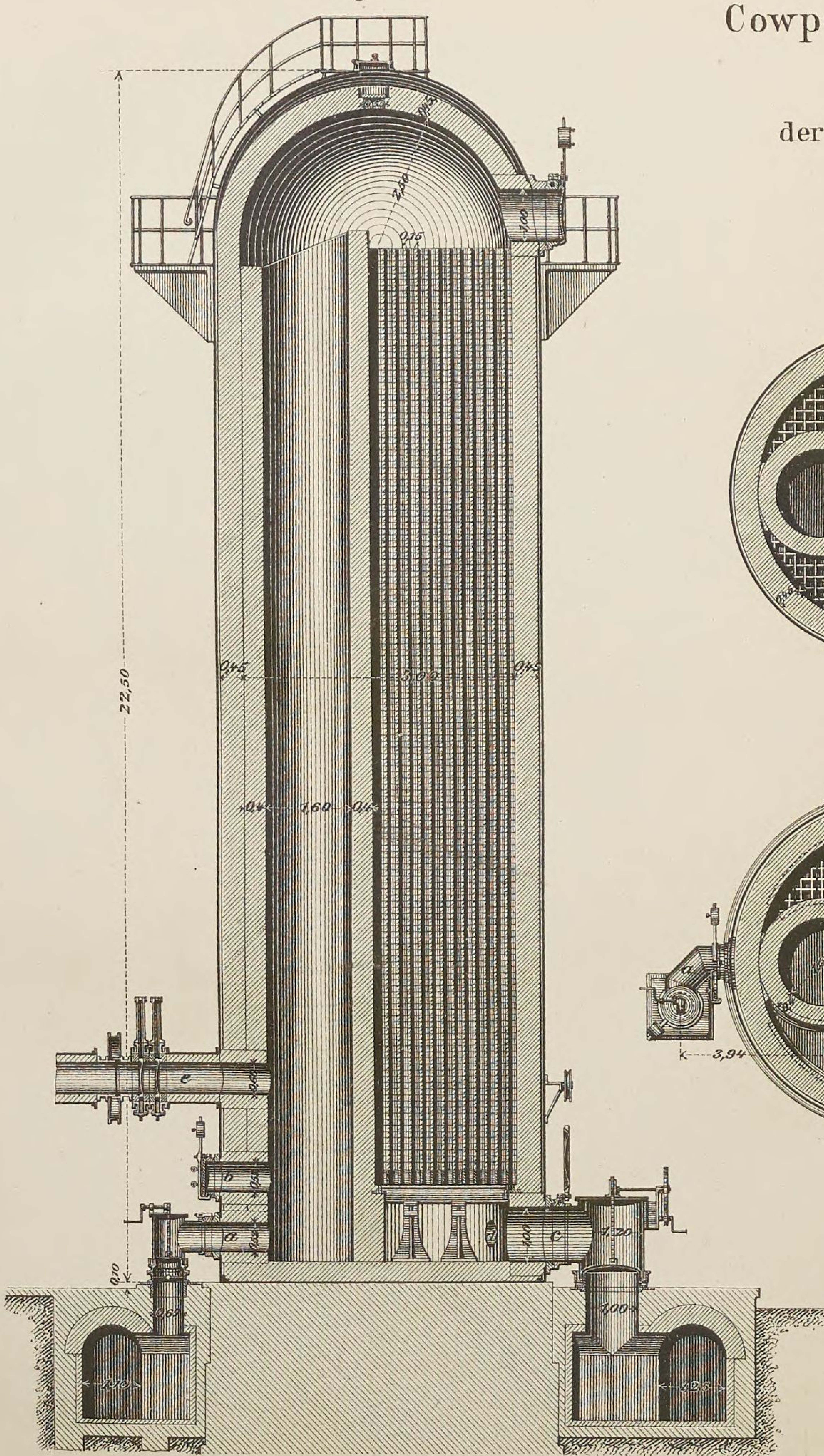
Zur Ermöglichung der Reinigung sind in der Haube die in Fig. 140 sichtbaren Mannlochverschlüsse angebracht. Der Winderhitzer wird kalt gelegt, nach Verlauf von etwa drei Tagen steigt ein Arbeiter hinein und reinigt mit Hülfe eines gleichen Verfahrens, wie es der Essenkehrer zum Reinigen sogenannter russischer Röhren anwendet (d. h. mit Benutzung einer eisernen, an einer Kette hängenden Kugel, an welcher ein Besen befestigt ist), die einzelnen Kanäle. Der niedergefallene Staub wird alsdann entweder durch besondere für diesen Zweck am Boden angebrachte Oeffnungen, wie bei den Whitwell-Apparaten, oder durch die Oeffnung bei *c* entfernt, nachdem man das anschliessende Gasabzugsrohr in der später zu beschreibenden Art und Weise abgelöst und die Oeffnung dadurch frei gemacht hat.

Die Heizfläche eines Winderhitzers von den Abmessungen wie in

1) Sonstige Formen von Whitwell-Winderhitzern: „Stahl und Eisen" 1883, Maiheft Blatt 1; Berg- und Hüttenmännische Zeitung 1878, Seite 195 (Lévêques Winderhitzer).

2) Abbildungen älterer Cowper-Winderhitzer: Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, 1. Auflage, Abtheilung II, Seite 149.

Fig. 140.



Cowper-Apparat.

$^1/_{150}$
der wirklichen
Grösse.

Fig. 141

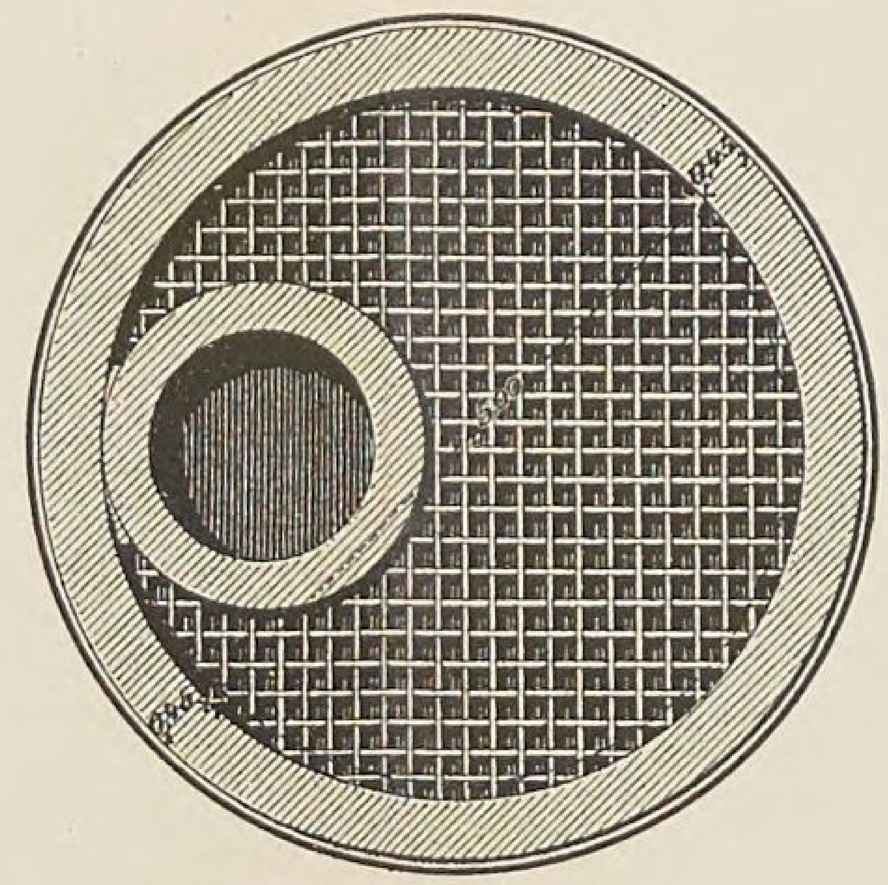
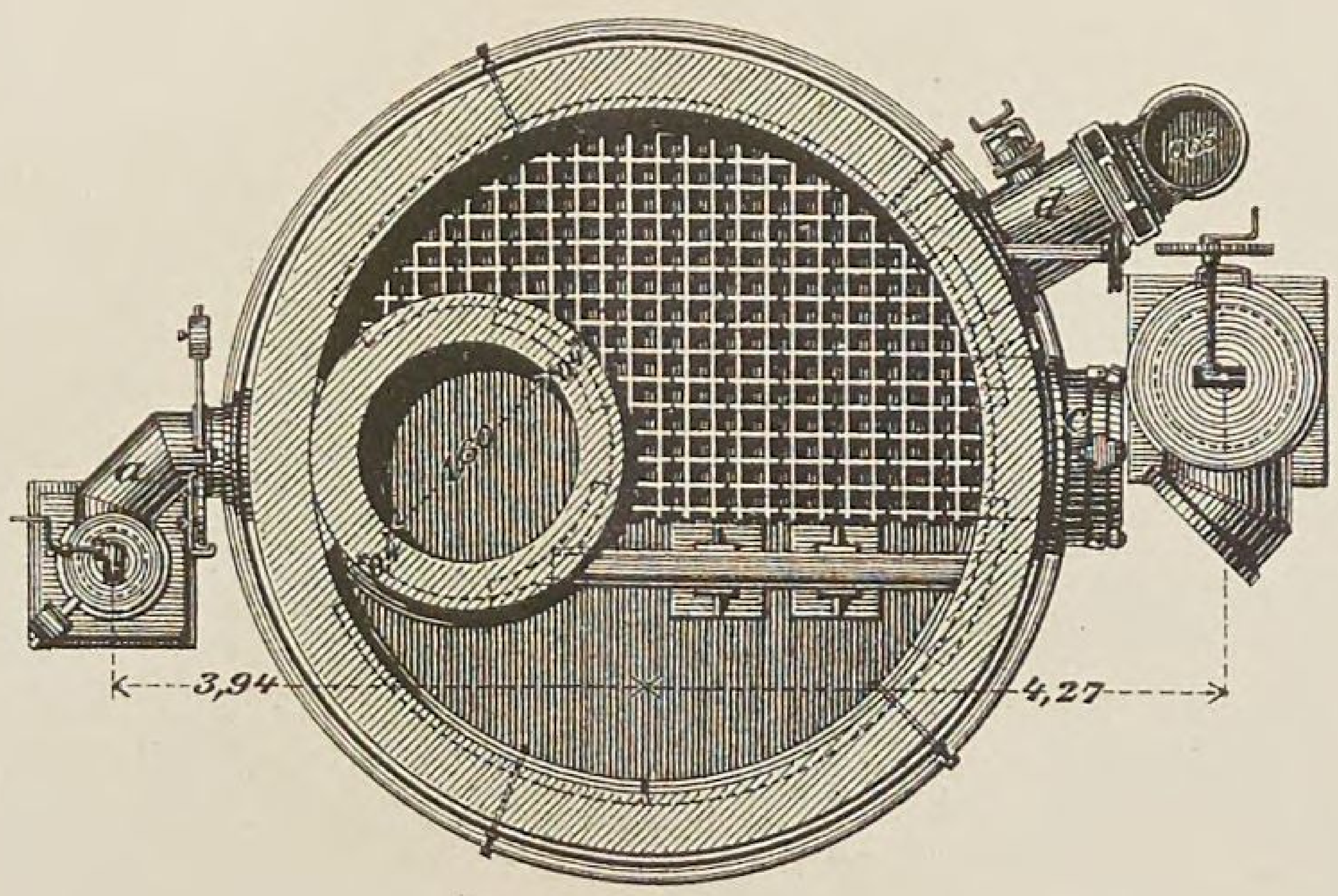


Fig. 142



Verlag v. Arthur Felix, Leipzig.

Techn. art. Anst. v. Alfr. Müller, Leipzig-R.

der Abbildung beträgt etwa 5000 qm. In einzelnen Fällen hat man den Cowper-Winderhitzern bis 30 m Höhe gegeben (Hayingen), während der äussere Durchmesser stets 6 bis 7 m zu betragen pflegt.

Bei dem abgebildeten Apparate haben die Züge quadratischen Querschnitt und werden durch hochkantig stehende, im Verband zusammengestellte Ziegel (Fig. 141) gebildet. Diese Anordnung ist am üblichsten; mitunter jedoch hat man den Zügen auch sechseckigen oder kreisrunden Querschnitt gegeben. Fig. 143 und 144 zeigen die übliche Steinform für diese Fälle.[1] Man beabsichtigt hierdurch, die Reinigung zu erleichtern, da in Zügen von quadratischem Querschnitte sich vorwiegend in den Ecken Staub ansetzen wird, welche bei der Reinigung mit der Kugel und dem Besen am wenigsten berührt werden.

Bei einem Cowper-Winderhitzer von der oben (Fig. 140 bis 142) dargestellten Einrichtung werden die Gase und der Wind, ihrem Bestreben, den kürzesten Weg zu nehmen, folgend, vorwiegend in der Mitte zwischen dem Verbrennungsschachte und den gegenüber befindlichen Auslass- und Eintrittsöffnungen sich bewegen, und die seitlich

Fig. 143.

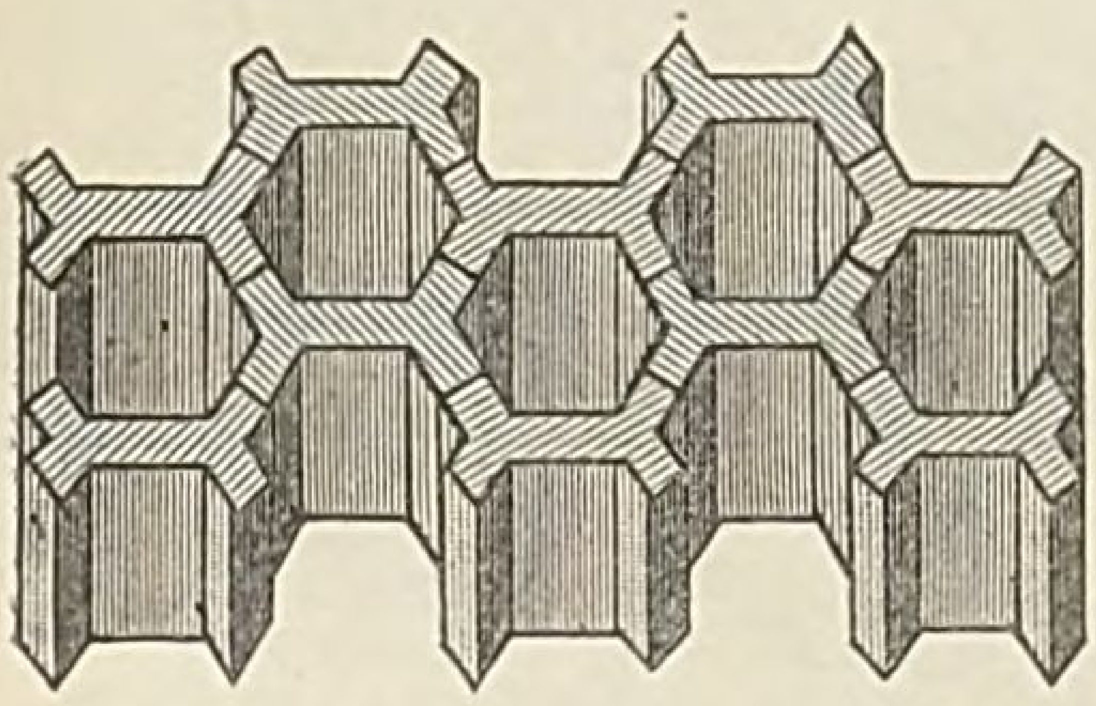
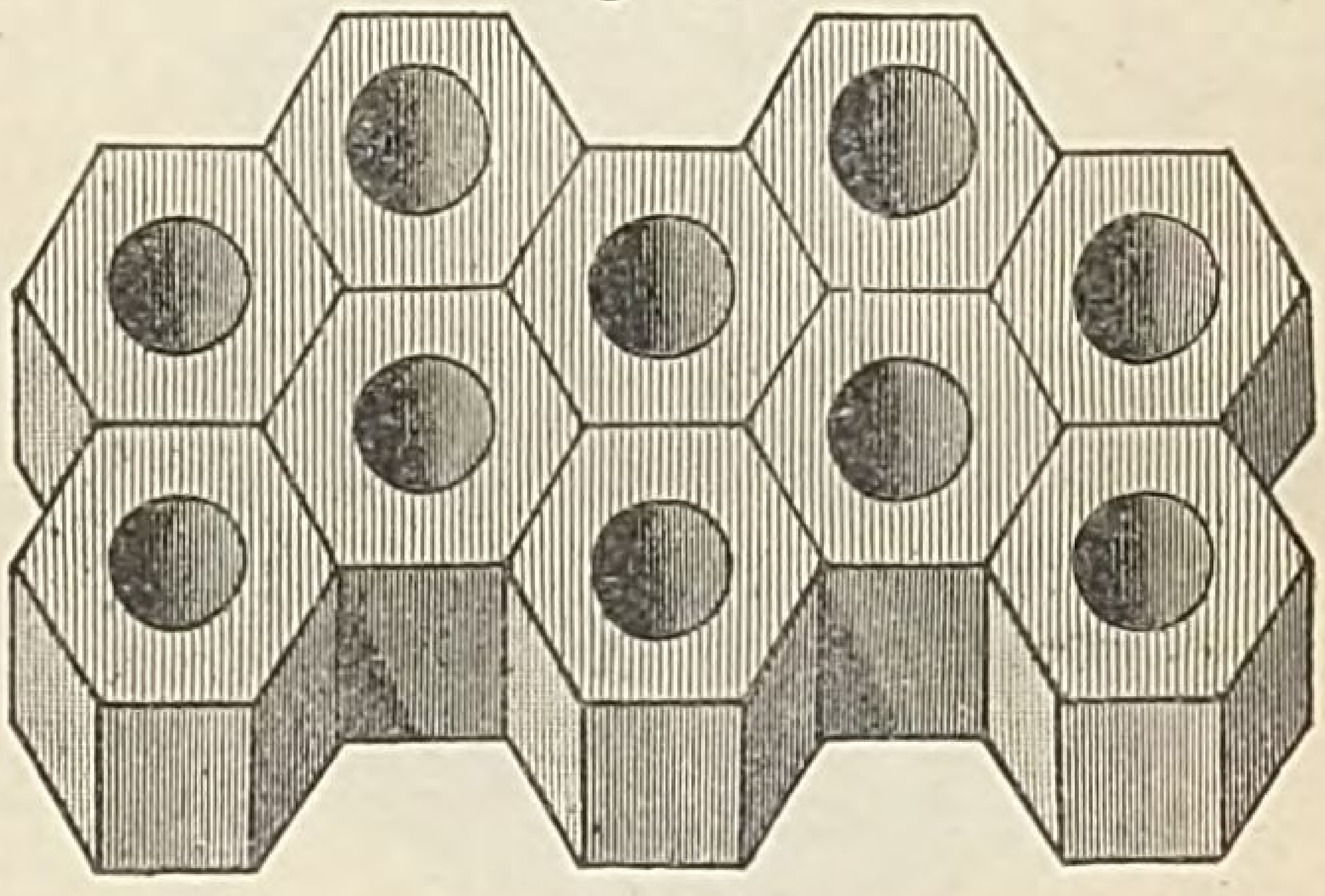


Fig. 144.



davon befindlichen Züge werden nur verhältnissmässig wenig berührt werden.

In verschiedener Weise hat man diesem Uebelstande abzuhelfen gesucht.

Auf manchen Werken — zuerst auf den Edgar-Thomson-Stahlwerken bei Pittsburg[2]) — hat man dem Verbrennungsschachte nicht kreisförmigen, sondern kreissegmentförmigen Querschnitt wie bei den Whitwell-Apparaten gegeben; häufiger noch findet man eine elliptische Querschnittsform des Verbrennungsschachtes, welche diesem eine grössere Standfestigkeit verleiht. Fig. 145 und 146 auf S. 448 zeigen die beiden Anordnungen im Grundrisse. Die beiden zur Versteifung dienenden Querwände in Fig. 145 gehen nicht bis auf den Boden herunter, sondern beginnen erst in etwa 5,5 m Höhe über dem Boden, so dass unten ein gemeinschaftlicher Mischraum für Gas und Luft entsteht; die Luft tritt vom Boden aus durch drei in der Abbildung erkennbare rechteckige Oeffnungen ein.

1) Ueber sonstige Formen und Anordnungen der Ziegel vergleiche „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 484; Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1886, Seite 521.

2) „Stahl und Eisen“ 1883, Seite 166 nach den Transactions of the American Institute of Mining Engineers.

Boecker[1]) sucht das gleiche Ziel dadurch zu erreichen, dass er unter Beibehaltung der Kreisform für den Querschnitt des Verbrennungsschachtes die mittleren Kanäle enger, die äusseren weiter macht (in Friedenshütte 165 und 200 mm, bei neueren Ausführungen 130 und 160 mm); französische Werke verringern den Durchzug der Gase und der Luft durch die mittleren Züge durch Auflegen von Ziegeln mit engerer Durchgangsöffnung (100 mm Durchgangsöffnung bei 150 mm weiten Zügen).[2])

Statt des beschriebenen gusseisernen Unterbaues für die Züge, welcher bei hoher Temperatur der abziehenden Gase der Gefahr des Schmelzens oder doch des Verbrennens (Seite 255) und einer damit verbundenen Formveränderung ausgesetzt ist, wendet man bisweilen einen steinernen Unterbau an, indem man kleine Mauerpfeiler durch Bogen mit einander verbindet, auf welchen die Züge ruhen, oder in ähnlicher Weise.[3])

Fig. 145.

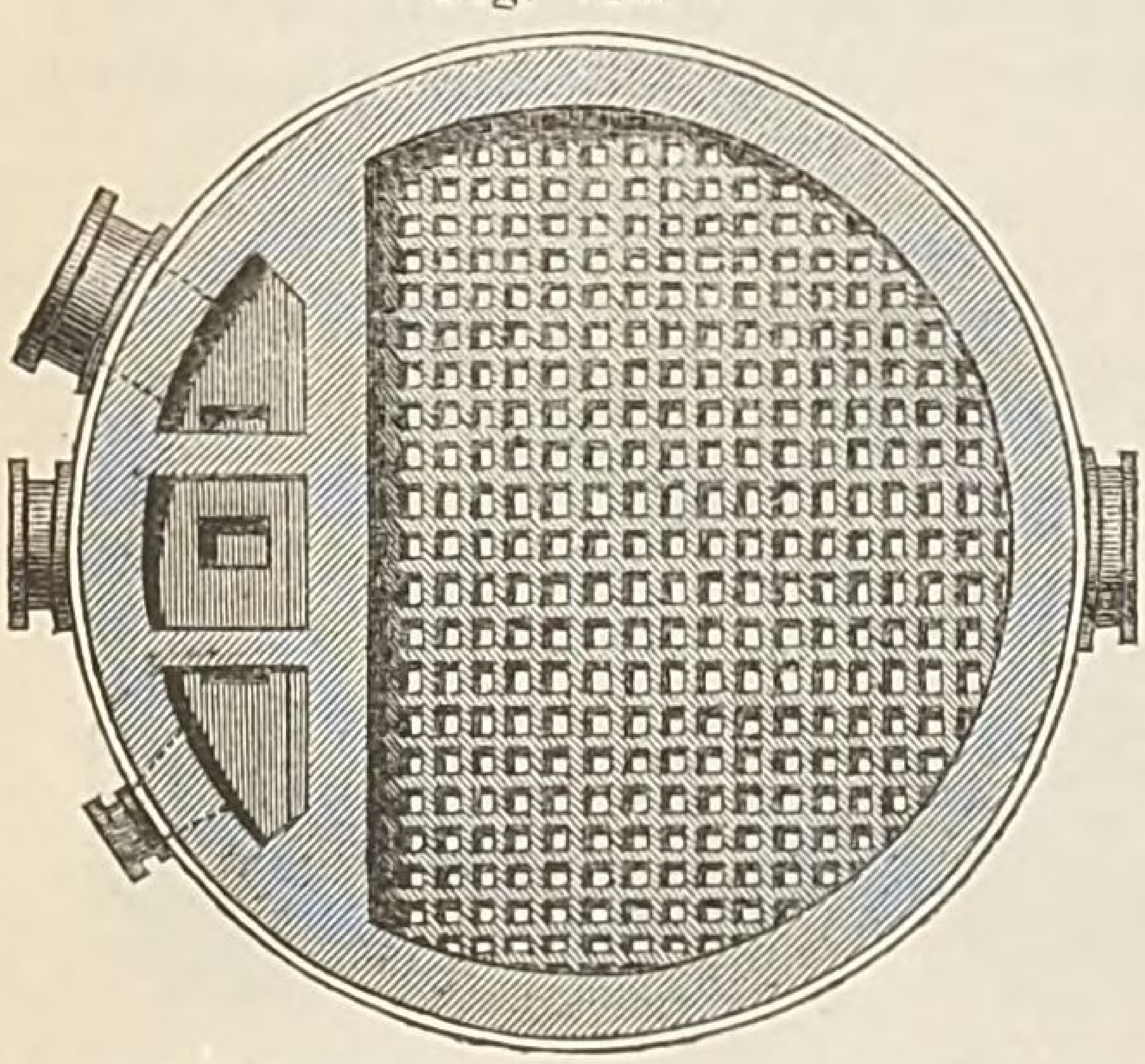
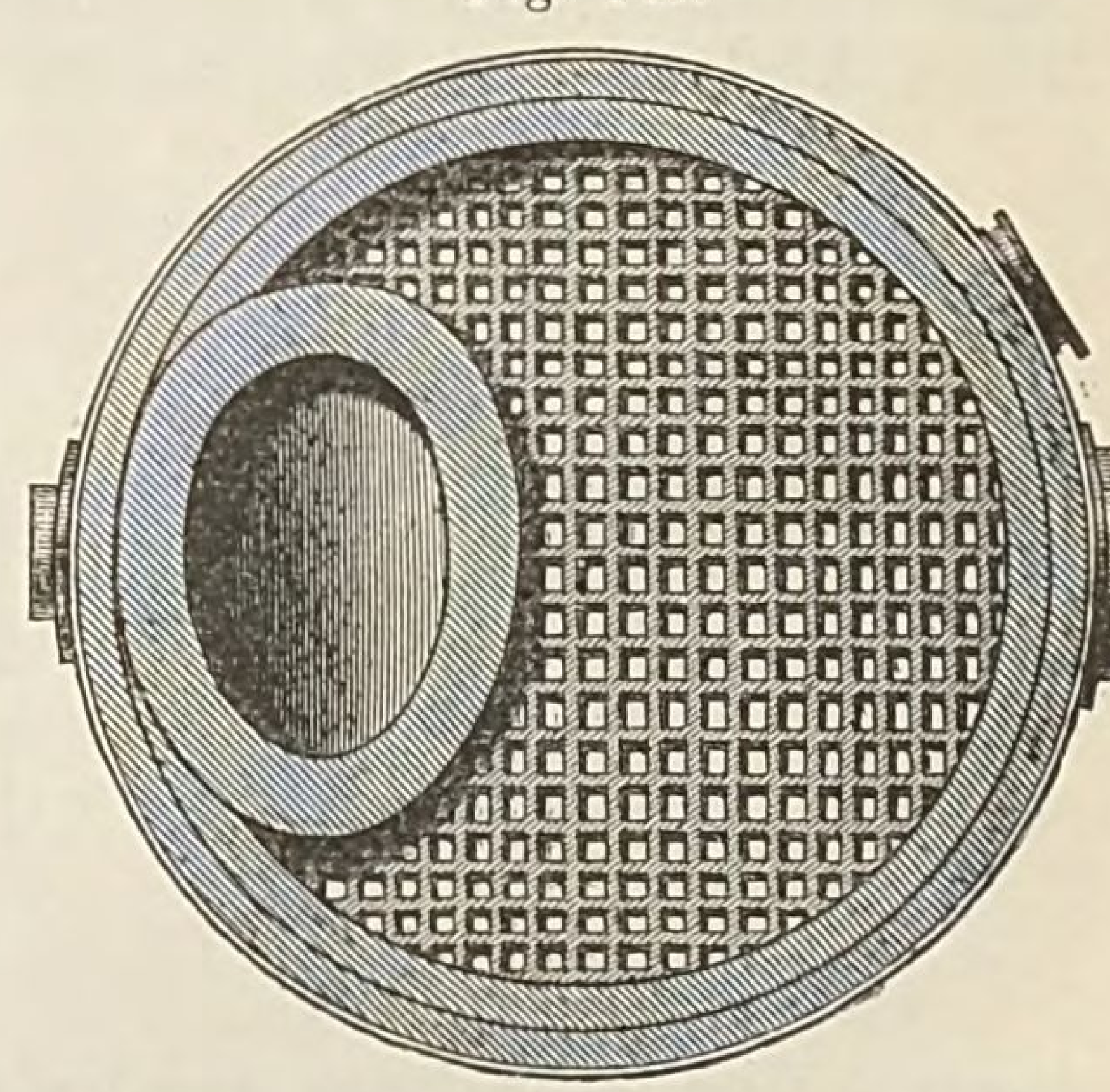


Fig. 146.



Zu der Gruppe der Winderhitzer mit nur einer Krümmung in dem Wege für Gas und Wind gehört auch eine von Massicks und Crooke im Anfange der achtziger Jahre erfundene Form, welche auf einigen englischen und amerikanischen Eisenwerken Anwendung gefunden hat. Die Züge für Gas und Gebläsewind sind bei diesen Winderhitzern ringförmig um einander angeordnet und durch radiale Wände, welche zugleich die Heizfläche vergrössern, abgesteift. Die zur Heizung bestimmten Gase treten zunächst in die mittleren, unter einander verbundenen Züge, steigen hier empor, gelangen am Scheitel des Apparats in die äusseren, ebenfalls unter einander verbundenen Züge, um in diesen abwärts zu ziehen und dann nach der Esse zu entweichen. Nach dem Umschalten nimmt der Wind, wie bei allen steinernen Winderhitzern, den entgegengesetzten Weg.[4])

1) „Stahl und Eisen" 1889, Seite 920.

2) Ebenda; auch Seite 774 desselben Jahrganges, wo ein noch anderes Verfahren für Erreichung des gleichen Zweckes beschrieben ist.

3) Beispiele hierfür in den in vorstehenden Fussanmerkungen genannten Abhandlungen.

4) Abbildung der Massicks-Crooke-Winderhitzer: „Stahl und Eisen" 1883, Seite 28; 1892, Seite 569.

Schon bei den älteren Cowper-Apparaten hatte man, wie schon erwähnt wurde, den Schacht für die Gaszuführung in die Mitte der Kammer statt, wie jetzt, an die Seite gelegt. Es zeigte sich jedoch, dass die Gase nach ihrem Austreten aus dem mittleren Schachte sich nicht gleichmässig in die abwärts führenden Kanäle vertheilten, sondern, wie leicht erklärlich ist, vorzugsweise die Richtung nach derjenigen Seite hin nahmen, an welcher sie schliesslich austraten. Es ist zu erwarten, dass auch bei den Massicks-Crooke-Apparaten sich eine ähnliche Ungleichmässigkeit in der Bewegung der Gase ergeben wird, welche die Ausnutzung der Wärme benachtheiligt. Eine grosse Bedeutung haben sie nicht erlangt.

Vergleich der Whitwell- und Cowper-Winderhitzer.

Die gesammte Heizfläche eines Cowper-Apparats ist etwa anderthalbmal so gross als die eines Whitwell-Apparats von gleichen äusseren Abmessungen. Von der Grösse der Heizfläche aber hängt zum grossen Theile die Gleichmässigkeit der Erhitzung ab. Man hat gefunden, dass bei Erhitzung von 450 bis 500 cbm Wind in der Minute auf 700° C. in Whitwell-Apparaten Temperaturschwankungen bei einstündigem Wechsel von 50 bis 60°, in Cowper-Apparaten von 35 bis 55° eintreten.

Der Weg, welchen Gas und Luft zurückzulegen haben, ist in den Whitwell-Apparaten länger, die Widerstände, welche sich ihrer Fortbewegung entgegensetzen, wegen der zahlreicheren Krümmungen beträchtlicher. Zur Ueberwindung dieser Widerstände muss bei ersteren der Essenzug kräftiger, die Arbeitsleistung der Gebläsemaschine beträchtlicher sein. Genaue Vergleiche hierüber liegen jedoch nicht vor.

Die Verbrennung der Gase erfolgt bei den Whitwell-Apparaten durch Zuführung stark vorgewärmter, bei den Cowper-Apparaten fast immer kalter Luft. In den flachen Scheidewänden der Whitwell-Apparate lassen sich die zur Vorwärmung dienenden Luftzüge leicht, in den Wänden der Cowper-Apparate weniger leicht anbringen. Hierin liegt ein Vorzug der ersteren Winderhitzer. Die Verbrennung geht rascher und vollständiger von statten, die Wärmeausnutzung ist günstiger.

Die Reinigung ist bei den Whitwell-Apparaten von aussen möglich, ohne dass eine Abkühlung stattzufinden braucht, bei den Cowper-Apparaten nur von innen. Sie erfordert daher bei den ersteren weniger Zeit als bei den letzteren. Der Umstand gab früher vielfach den Ausschlag für die Whitwell-Apparate; er hat jedoch seine Bedeutung verloren, seitdem man die Vorrichtungen zur Reinigung der Gichtgase von Staub in einer Weise vervollkommnet hat, dass eine Reinigung der Winderhitzer überhaupt nur nach langen Zeitabschnitten — oft erst nach mehreren Jahren — erforderlich zu sein pflegt.

Die Anlagekosten beider Apparate sind annähernd gleich, sofern die äusseren Abmessungen übereinstimmen [1]; auf 1 qm Heizfläche bezogen dagegen bei den Cowper-Apparaten etwas niedriger. [2]

1) Ungefähr 35000 Mark für je einen Apparat von 6,5 m Durchmesser und 20 m Höhe.

2) Einiges Nähere hierüber in „Stahl und Eisen 1883, Seite 32.

Unter allen in der Jetztzeit bestehenden steinernen Winderhitzern dürften die von Cowper eingeführten am zahlreichsten vertreten sein.

Die Verschlüsse der steinernen Winderhitzer.

Seit der ersten Anwendung der in Vorstehendem besprochenen steinernen Winderhitzer machte sich in nicht geringem Maasse die Schwierigkeit geltend, für die abwechselnd ausser Benutzung tretenden Zu- und Ableitungsöffnungen anzubringen, Verschlussvorrichtungen, welche, ohne undicht oder gar durch die starke Erhitzung zerstört zu werden, doch eine verhältnissmässig leichte Handhabung ermöglichen, eine Aufgabe, deren Lösung theils durch die hohe und wechselnde Temperatur, theils durch die Ablagerungen von Staub an den Dichtungsflächen erschwert wird. Bei dem ziemlich bedeutenden Querschnitte jener Oeffnungen und der starken Pressung, mit welcher bei grösseren Hochöfen der Wind durch die Kammer hindurchzieht, hat jede an und für sich nicht einmal sehr erhebliche Undichtigkeit in dem Verschlusse der Oeffnungen einen bedeutenden Windverlust zur Folge; und der ziemlich geringe Erfolg, welchen die ersten steinernen Winderhitzer im Laufe der sechziger Jahre fanden, beruhte wenigstens zum Theil auch auf der Mangelhaftigkeit jener Verschlüsse, welche sich bald verzogen und dermaassen undicht wurden, dass wegen allzu bedeutender Windverluste die Apparate wieder ausser Thätigkeit gesetzt werden mussten.

Am einfachsten kann die Einrichtung zur Absperrung des kalten Windes sein. Ein gut gearbeiteter Schieber pflegt hier den Zweck zu erfüllen.

Für den Verschluss des Heisswindrohres wurden bei den im Laufe der siebziger Jahre erbauten Apparaten, insbesondere den Whitwell-Apparaten, vielfach wassergekühlte Ventile benutzt. Das aus Eisenblech gefertigte Ventil hat linsenartige Gestalt, ist hohl, und in der Ventilstange sind zwei in das Innere des Ventiles führende Röhren angebracht, an deren Enden Kautschukschläuche angeschlossen sind, um das kalte Wasser zu- und das erwärmte abzuleiten. Durch eine Kurbel mit Getriebe und Zahnstange wird die Bewegung des mit Gegengewicht versehenen Ventiles bewirkt. Auch der gusseiserne Ventilsitz ist hohl und wird durch hindurchfliessendes Wasser kühl erhalten. Die oben gegebene Abbildung eines älteren Winderhitzers (Fig. 134) zeigt von aussen die Ventilstange nebst Kette und Gegengewicht. Wo die Einrichtung einmal eingeführt war, findet man sie auch jetzt noch mitunter in Benutzung; sie ist jedoch kostspielig und schwerfällig zu handhaben. Bei den neueren Winderhitzern sind diese Ventile daher gänzlich ausser Anwendung gekommen. Man pflegt Schieber aus Stahlguss zu benutzen, mit gekrümmten Flächen, welche leichter als gerade dem Verziehen widerstehen und mit Asbest gedichtet sind. Häufig bringt man zwei solcher Schieber hinter einander an, um desto dichteren Abschluss zu erhalten und gegen alle Gefahren geschützt zu sein, falls ein Schieber versagen sollte. Bei dem Winderhitzer Fig. 140 sind in dem Heisswindrohre die beiden Schieber erkennbar.

Für die Zu- und Auslassöffnungen der Gasleitung sind auf deut-

schen Eisenwerken vornehmlich zwei verschiedene Verschlüsse in Anwendung. Ein von F. Burgers eingeführtes Drehventil hat die in Fig. 147 und 148 dargestellte Einrichtung.

Das aus Eisenblech gefertigte Rohr *a* taucht mit seinem unteren Rande in eine Wasserrinne und wird von drei ausserhalb befestigten Rollen *r r* getragen, wodurch eine leicht auszuführende Drehung um seine Achse ermöglicht ist. Seitlich ist an das Rohr der Krümmer *b* angeschlossen, welcher mit dem Rohre gedreht wird, und dessen Mündung mit einem glatt gearbeiteten Gusseisenringe versehen ist. An dem Mantel der Heizkammer ist der gusseiserne Rahmen *S* befestigt. Soll das Gas in die Kammer eintreten, so dreht man das Rohr *a* so weit herum, dass die Mündung des Krümmers *b* sich hart an *S* anlegt, öffnet das in gewöhnlicher Weise eingerichtete Tellerventil *A*, welches durch Zahnstange und Getriebe bewegt wird[1]), und regelt den Gasstrom mit Hülfe der Drosselklappe *d*. Soll dagegen das Blasen beginnen, so dreht man zur Absperrung des Gases das Rohr zur Seite in die durch Fig. 148 dargestellte Lage, bringt durch Drehung des Hebels *e* den Gusseisenteller *c* vor die Oeffnung des Rahmens *S*, welche genau dadurch abgedeckt wird, und drückt ihn durch Anziehen der Schraube *i* fest gegen den Rand, so dass in wenigen Secunden ein luftdichter Abschluss der Oeffnung hergestellt ist. Der Arm e_1 des Kniehebels greift dabei, um der Schraube den erforderlichen Gegendruck zu verschaffen, mit seinem bügelartig umgeschmiedeten Ende hinter eine angegossene Nase des Rahmens *S*.

Fig. 147.

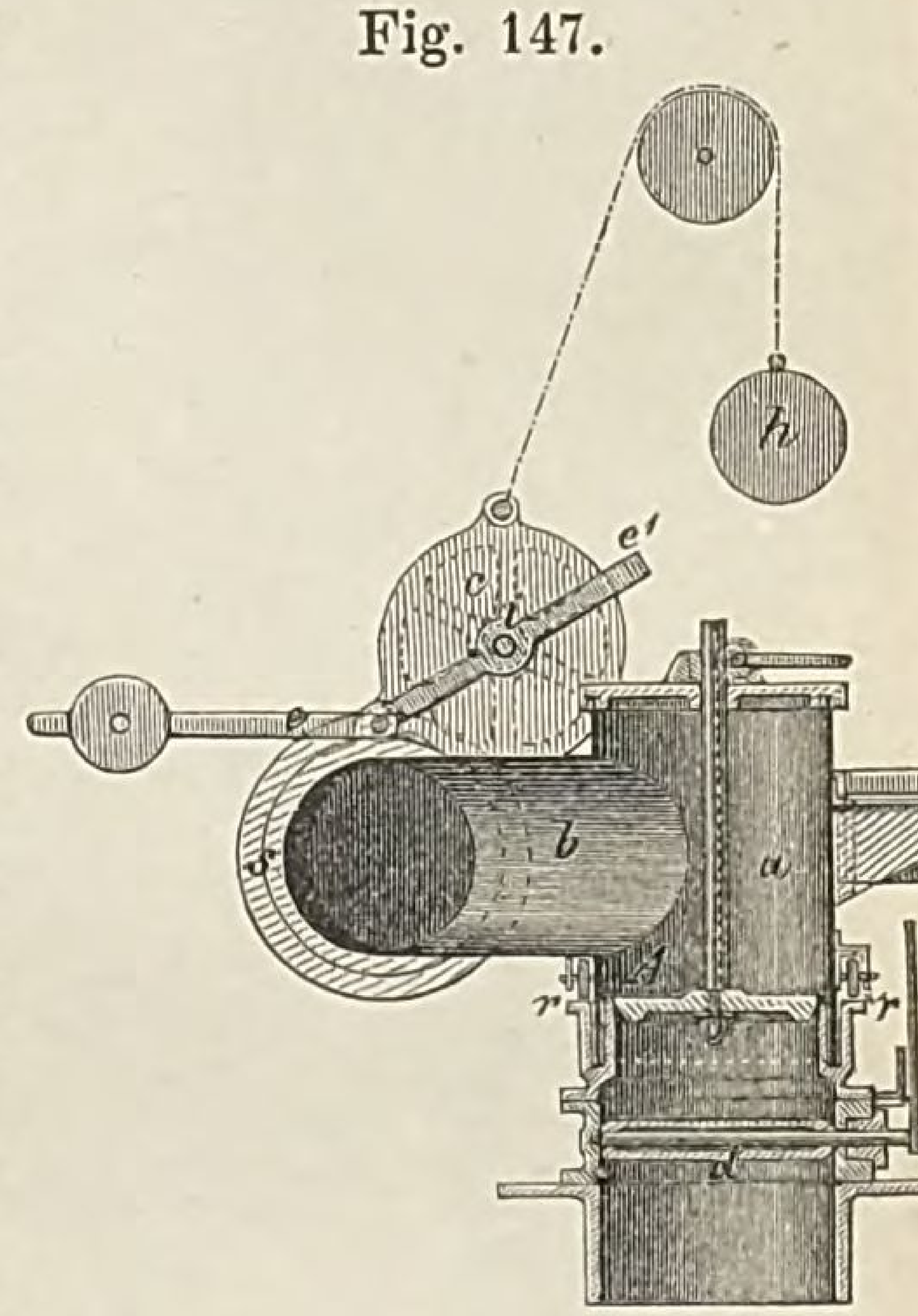
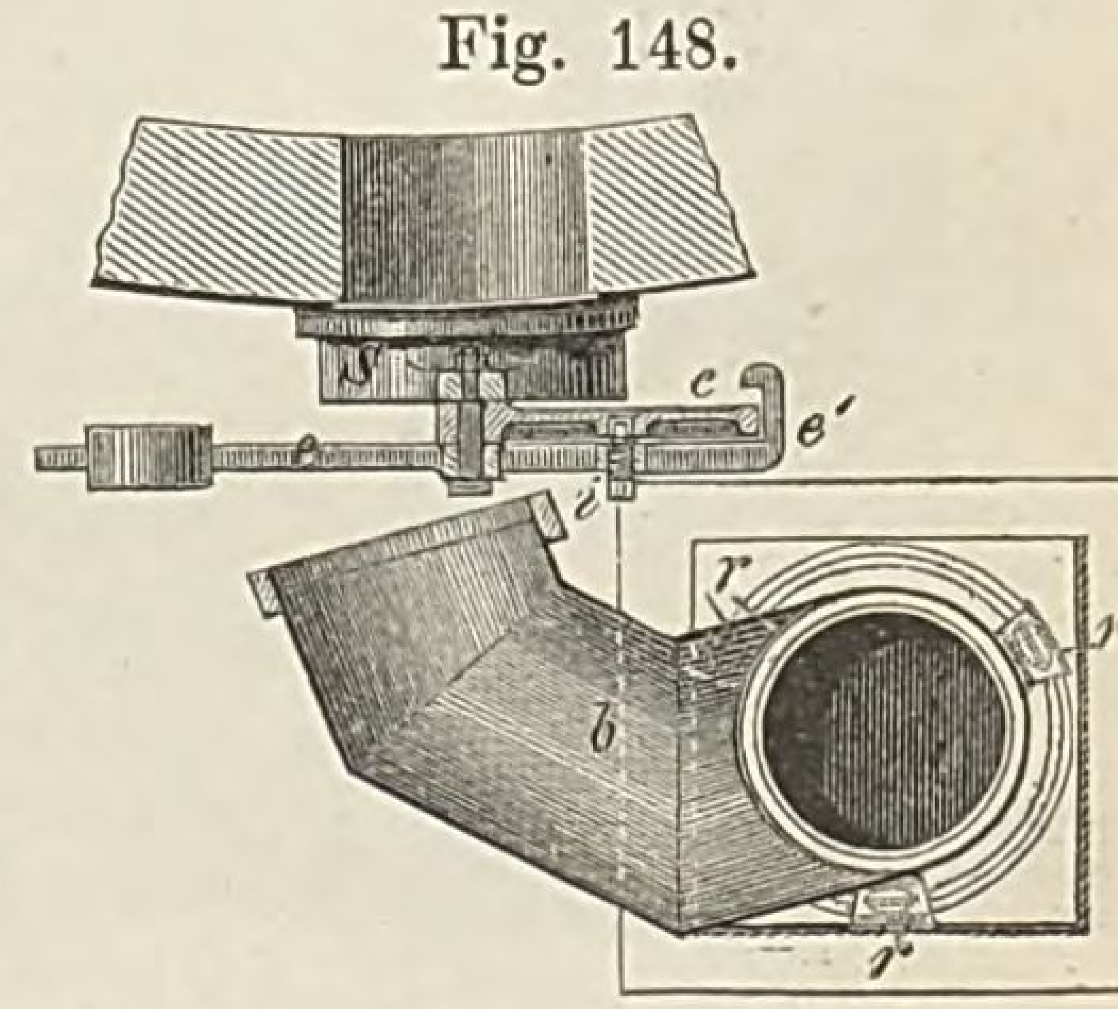


Fig. 148.



Nicht minder leicht geht die Oeffnung des Verschlusses und die Einschaltung der Leitung vor sich. Ein an den Teller *c* angeschlossenes Gegengewicht *h* erleichtert hierbei das Empordrehen desselben, nachdem die Verschlussschraube gelöst wurde. Die Abbildung Fig. 149 zeigt in der Schaubildansicht und in grösserem Maassstabe die Stellung der Theile während des Blasens.[2])

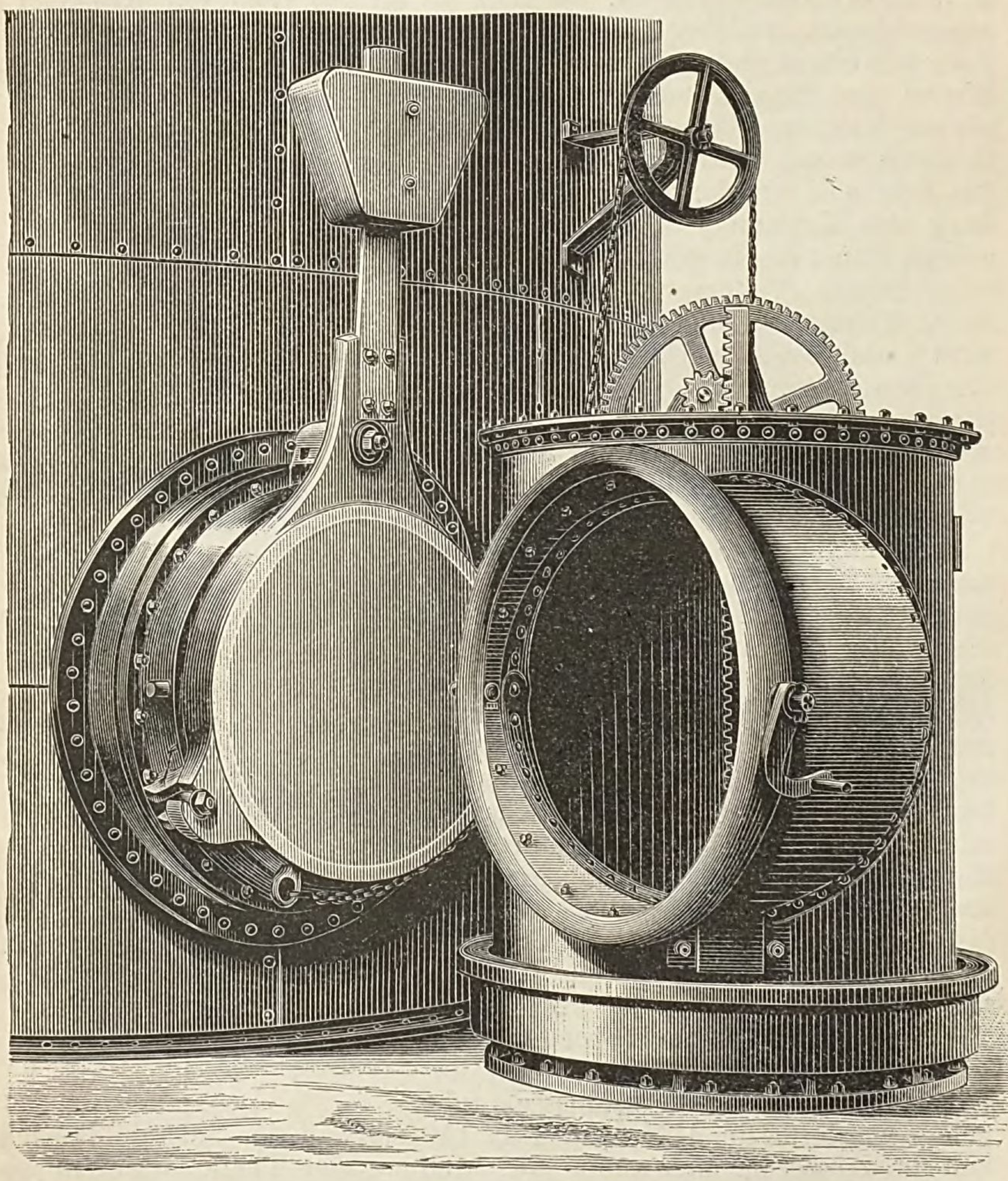
Der Vortheil dieser Einrichtung liegt in dem Umstande, dass der Ventilteller *A* nur zur Absperrung des Gases dient und nicht auch,

1) Auch ein in dieselbe Wasserrinne wie das Rohr *a* eintauchendes Glockenventil aus Eisenblech lässt sich an Stelle des Tellerventiles benutzen. Bei dem Auslassventil des Hochofens Fig. 140 ist eine solche Form gewählt.

2) Aus dem Musterbuche der Firma Heintzmann & Dreyer in Bochum.

wie bei früheren Einrichtungen, das Austreten des heissen Windes verhindern soll, somit kalt bleibt und von aussen her zugänglich ist, also gereinigt und nöthigenfalls ausgewechselt werden kann, während die Oeffnung *S* durch eine einfache, leicht auswechselbare Vorrichtung dicht abgeschlossen ist.

Fig. 149.



Das Auslassventil ist im Wesentlichen ebenso als das Einlassventil eingerichtet, nur entsprechend grösser in den Abmessungen wegen des grösseren Rauminhaltes der austretenden Gase.

Ebensolche Teller mit Gegengewichten als hier zum Verschlusse der Oeffnungen während des Blasens dienen, pflegt man auch zum Verschlusse der Lufteinströmungs- und Reinigungsöffnungen anzuwenden.

Bei dem Hochofen Fig. 140 sind die sämmtlichen Oeffnungen mit den hier besprochenen Burgers-Verschlüssen versehen.

Eine andere, ebenfalls häufig benutzte Absperrvorrichtung wurde durch Schmidt eingeführt und ist unter dem Namen Schmidtsche Brille bekannt. Sie besteht aus der Verbindung eines aus Gusseisen oder Stahl gefertigten Tellers, welcher als Verschlussvorrichtung dient, mit einem Ringe, dessen innerer Durchmesser dem innern Durchmesser der Rohrleitung entspricht. Beide Theile sind in einem Stücke gegossen und in ihrer Ebene um einen gemeinschaftlichen Zapfen drehbar,

Fig. 150.

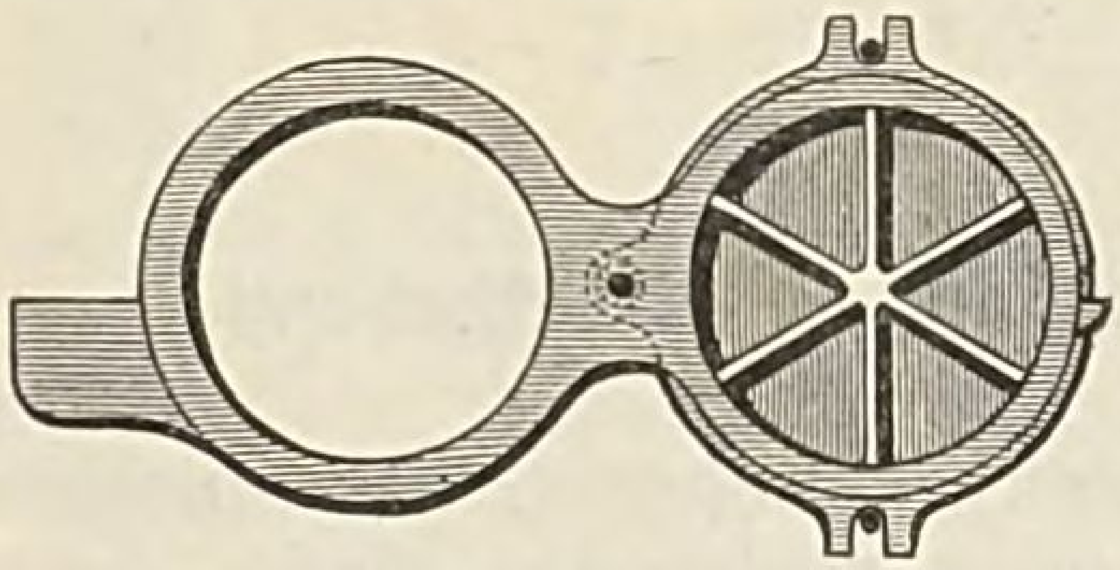
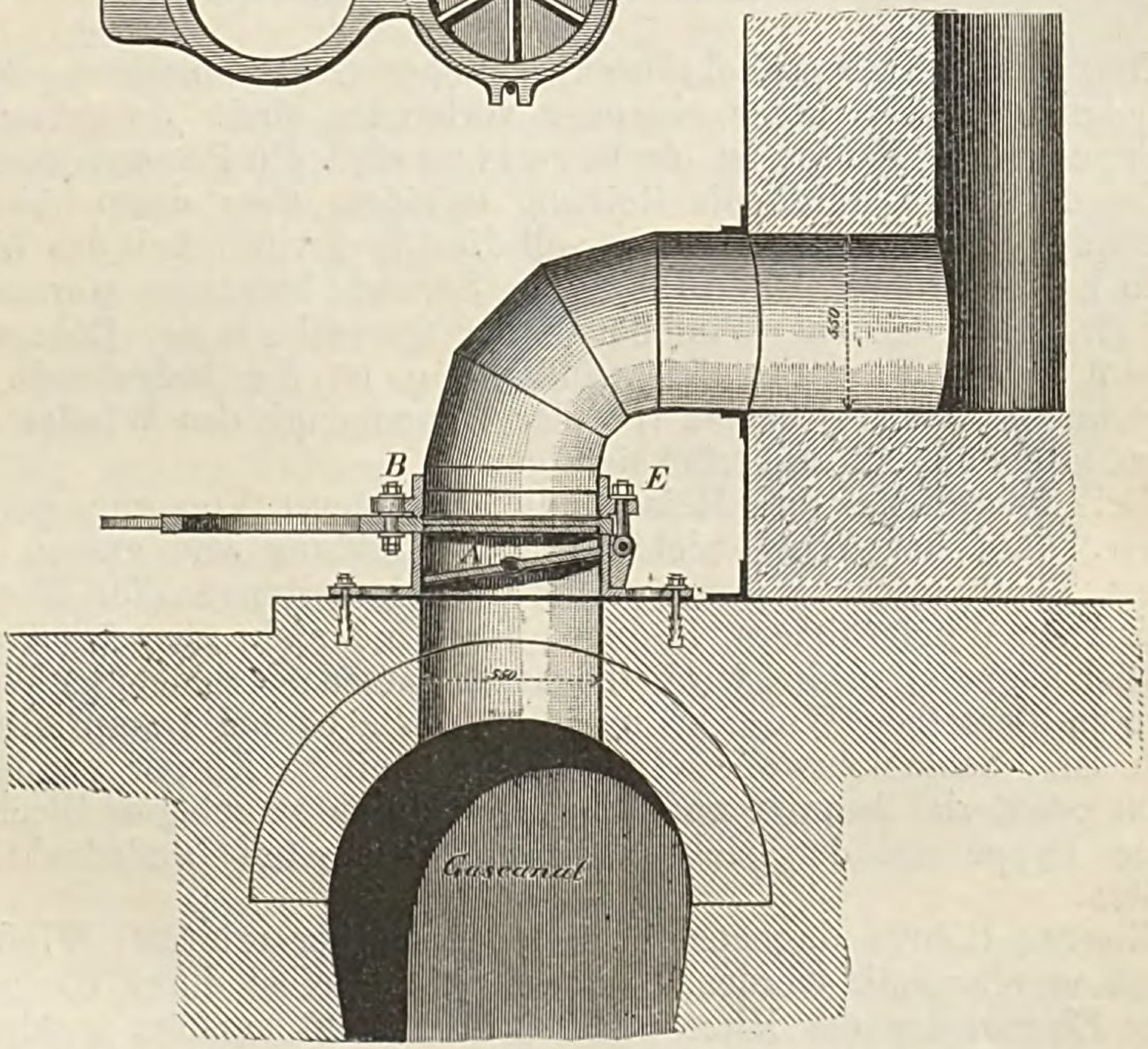


Fig. 151.



wie Fig. 150 darstellt. Die beiden äusseren Flächen des Gussstückes (der Drehscheibe oder Brille) sind glatt bearbeitet. Fig. 151 zeigt die Anbringung in der Leitung, und zwar in der Stellung, bei welcher Absperrung stattfindet (während des Blasens): die Brille ist so gedreht, dass der Teller sich innerhalb der Leitung befindet und die Absperrung bewirkt. Damit winddichter Abschluss stattfinde, ist das aus Eisenblech gefertigte Gasrohr an der Stelle, wo die Brille eingelegt ist, mit einem abgedrehten Gusseisenborde versehen, gegen welchen der Rand der Brille durch Anziehen der Schraube *E* (deren zwei vorhanden sind) gepresst wird. *B* ist der Drehungszapfen. Soll die Verbindung mit

dem Gaskanale hergestellt werden, so löst man die Schrauben *E*, klappt sie nieder, dreht die Brille um 180 Grad, so dass der Ring sich innerhalb der Leitung befindet, bringt die Schrauben *E* wieder in ihre Stellung und öffnet die Drosselklappe *A*. Ebenso wie die abgebildete Zulassvorrichtung ist die Auslassvorrichtung eingerichtet, nur besitzt sie entsprechend grössere Abmessungen.

Die Schmidtsche Brille ist noch einfacher als das Burgerssche Ventil; aber sie macht, da die Rohrleitung festliegt, die Anbringung besonderer Reinigungs- und Einsteigeöffnungen erforderlich, während bei der Einrichtung nach Burgers die Oeffnungen, an welche sich die drehbaren Rohre anschliessen, zugleich in bequemer Weise auch jenem andern Zwecke dienen können.

4. Die Windleitung und Windvertheilung.

Man benutzt Eisenblechröhren, seltener Gusseisenröhren, welche in geeigneter Weise unter einander verbunden sind. Je grösser der Durchmesser der Röhren ist, desto geringer sind die Pressungsverluste, welche der Wind durch die Reibung erleidet, aber desto höher die Herstellungskosten. Nach Hauer soll die Geschwindigkeit des Windes in den Leitungsröhren 10—15 m in der Secunde betragen, woraus sich dann für eine gegebene Windmenge der Querschnitt der Röhren berechnen lässt. Für die Heisswindleitung ist die bedeutende Vergrösserung $v_w = (1 + 0{,}00366\ t)\ v$ der Raummenge des Windes durch Erhitzung gebührend zu berücksichtigen.

Bei Anordnung der Heisswindleitung muss Vorsorge getroffen werden, dass der Wind nicht durch Abkühlung von aussen einen grossen Theil seiner Wärme verliere. Windleitungen für Hochöfen mit eisernen Winderhitzern, in denen der Wind nicht über 500°, selten erheblich über 400° erhitzt wird, pflegt man aussen mit schlechten Wärmeleitern in derselben Weise zu umhüllen, wie es bei Dampfleitungen üblich ist. Schlackenwolle, Lehm oder ähnliche Körper werden als Packungsmaterial benutzt und äusserlich durch umgelegtes Blech, getheerte Pappe und dergleichen und umgewickelten Bindedraht festgehalten.

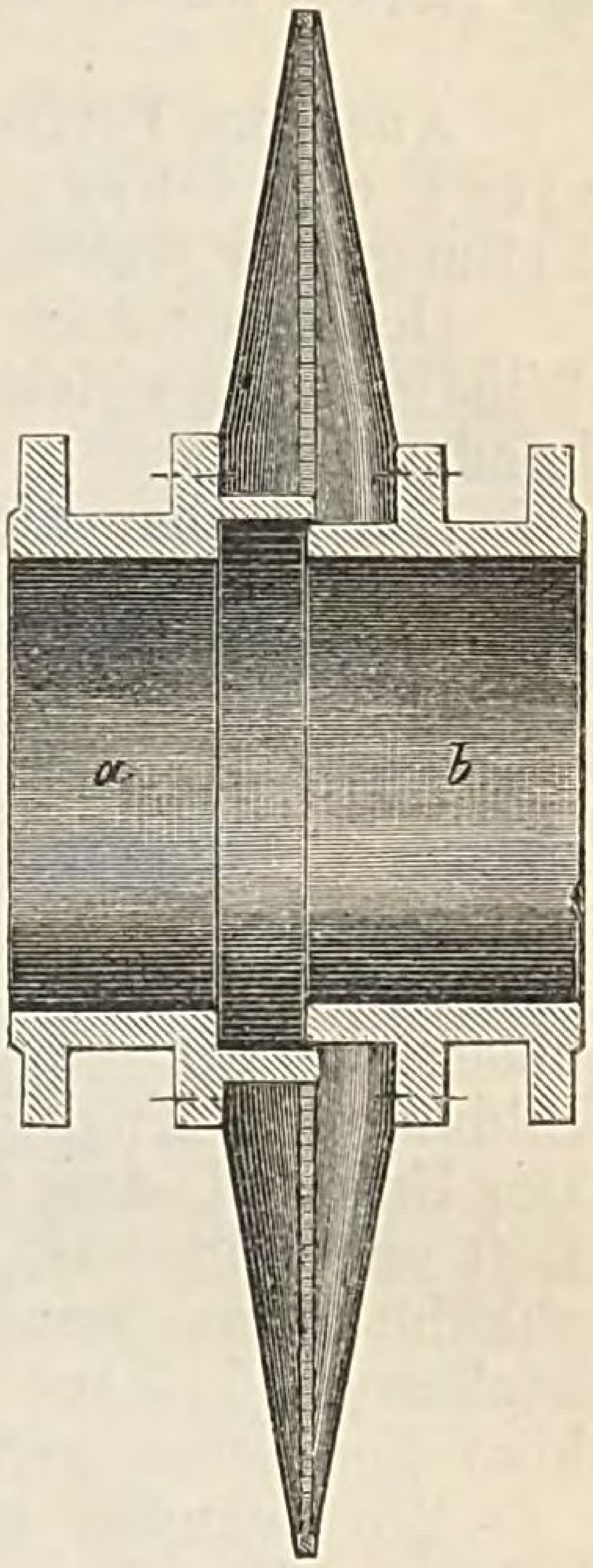
Eiserne Röhren dagegen, in welchen stärker erhitzter Wind fortgeleitet werden soll, werden, damit sie nicht selbst durch die gleichzeitige Einwirkung der Hitze und des Sauerstoffs zerstört werden, im Innern mit einer dicken Lage feuerfesten Materials ausgekleidet. Die Auskleidung kann durch Ausmauern mit feuerfesten Steinen oder durch Ausstampfen mit feuerfester Masse bewerkstelligt werden.

Nicht mindere Rücksicht aber ist bei längeren Leitungen auf den Umstand zu nehmen, dass die Leitungsröhren für den heissen Wind bei der Erhitzung sich ausdehnen, ihre Länge vergrössern und bei eintretender Erkaltung sich wieder zusammenziehen. Für je 100 Grad C. beträgt die Längenausdehnung des Eisens 0,00111; eine Leitung von 10 m Länge verlängert sich demnach bei der Erhitzung auf 400 Grad um 4,5 cm. Um hierbei Brüche zu verhüten, müssen Vorkehrungen getroffen werden, um der Leitung eine gewisse Beweglichkeit zu sichern.

Solche in die Leitung eingeschaltete, eine Verlängerung und Verkürzung ermöglichenden Vorrichtungen heissen **Compensatoren.**

Die einfachste und üblichste Einrichtung eines Compensators zeigt die Abbildung Fig. 152 (Scheibencompensator). An die Leitungsrohre sind die beiden Rohrstutzen *a* und *b* befestigt, deren Enden über einander greifen und sich um ein gewisses Maass in einander verschieben lassen. Damit hierbei keine Klemmung entstehe, ist der äussere Durchmesser des Rohrstutzens *b* einige Millimeter schwächer gehalten als der innere Durchmesser des Endes von *a*. Aus gut federndem Eisenblech von 2—3 mm Stärke sind zwei kreisrunde Scheiben von grossem Durchmesser an *a* und *b* befestigt, wie die Abbildung erkennen lässt, und an ihrem äusseren Rande durch einen eingelegten luftdicht vernieteten Metallring mit einander verbunden. Dehnt sich die Leitung aus, so werden die beiden Scheiben zusammengedrückt, um beim Erkalten ihre ursprüngliche Stellung wieder einzunehmen. Bei dem Winderhitzer Fig. 140 ist in dem Heisswindleitungsrohre *e* links neben dem Schieber ein solcher Compensator angebracht. Die Abbildung lässt auch die Auskleidung der Heisswindrohre mit feuerfestem Materiale erkennen.

Fig. 152.



Eine andere Gattung dieser Vorrichtungen nennt man Stopfbuchsencompensatoren. Das Ende des einen Rohres ist abgedreht und schiebt sich in dem mit Stopfbuchse versehenen Ende des andern. Als Packungsmaterial für die Stopfbuchse dient Asbest, da der sonst übliche Hanf in der Temperatur des erhitzten Windes verkohlt werden würde. Sie sind nur für Leitungen von kleinerem Durchmesser üblich.

So viel als irgend thunlich sucht man indess die Zahl der erforderlichen Compensatoren durch Abkürzung der Leitungen für den heissen Wind einzuschränken.

Ein ringförmig um den Hochofen herum laufendes Vertheilungsrohr nimmt schliesslich den Wind auf, um ihn durch Zweigröhren den einzelnen Formen des Hochofens zuzuführen. Früher, so lange man die Hochöfen mit Rauhgemäuer baute, pflegte man das Vertheilungsrohr vertieft in einen gemauerten Kanal zu legen und von hier den Wind aufsteigen zu lassen; bei den jetzigen Hochöfen, deren Schacht von Säulen getragen wird, zieht man es vor, das Vertheilungsrohr rings um die Rast herum zu legen und den Wind abwärts zu führen. Die ganze Anordnung wird dadurch übersichtlicher und leichter zugänglich. Gewöhnlich lässt man das Rohr auf Kragstücken ruhen, welche an den zum Tragen des Schachtes bestimmten Säulen angegossen oder angeschraubt sind. Verschiedene der früher gegebenen Abbildungen von Hochöfen lassen diese Einrichtung erkennen (Fig. 86, 89, 90). Da

das Rohr bei der Erhitzung seinen Durchmesser vergrössert, ist auch hier eine gewisse Beweglichkeit nothwendig, damit nicht etwa ein nachtheiliger Schub auf die Säulen ausgeübt werde. Bei dem in Fig. 86 abgebildeten Hochofen ist dieser Zweck in vollkommener Weise erreicht, indem man das Rohr in Lagern ruhen lässt, die von eisernen, als Rollen wirkenden Rundstäben getragen werden.

Aus dem Vertheilungsrohre gelangt der Wind durch den Düsenstock oder Düsenständer zur Düse, d. h. zu dem Endstücke der Leitung, aus welchem er in den Ofen eintritt.

Der Düsenstock besteht aus einer gegen die Düse zu wagerechten Windleitung, welche durch ein Knie mit dem Vertheilungsrohre verbunden ist.

Damit aber die Düse ohne Schwierigkeit eingesetzt und ausgewechselt, damit ihre Lage genau geregelt werden könne, lässt man den Düsenständer aus mehreren Theilen bestehen, welche eine gewisse Verstellung unter einander gestatten.

Ausserdem ist es gebräuchlich, in jedem Düsenstocke eine Absperrvorrichtung für den Wind anzubringen, theils um erforderlichen Falls ohne weitere Umstände die eine oder andere Düse ausser Thätigkeit setzen zu können, ausserdem auch, um beim Stillstande des Gebläses das Eintreten von Kohlenoxydgas in den Düsenständer und die Bildung von Knallgas durch Schliessen der Vorrichtung zu verhüten. Der Umstand, dass der Düsenständer während des Blasens mit erhitzter Luft angefüllt war, die bei längerem Stillstande sich mehr und mehr abkühlt, ihren Rauminhalt dabei verringernd und Gas aus dem Ofen nachsaugend, kann Gelegenheit zu jener Knallgasbildung geben, die bisweilen schon gefährliche Explosionen zur Folge gehabt hat.

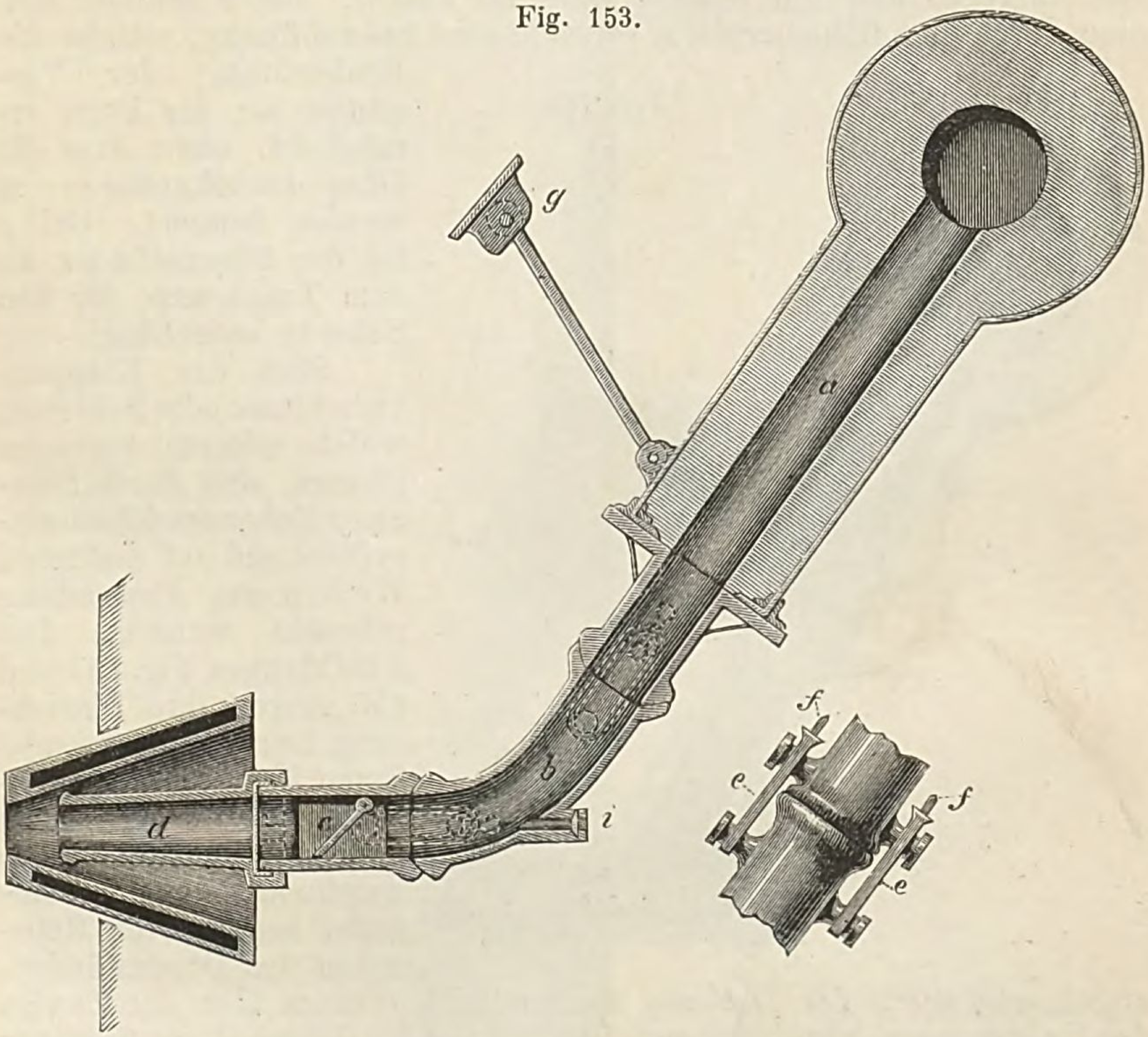
Ein Schieber oder eine Drosselklappe kann hierzu dienen. Bei grösseren Hochöfen wendet man mitunter zur grösseren Sicherheit einen selbstthätig wirkenden Verschluss in der Nähe der Düse an, welcher durch den Winddruck geöffnet wird und selbstthätig zufällt, sobald der Windstrom aufhört. In den letzten Jahren ist jedoch die Anbringung solcher Sicherheitsvorrichtungen seltener geworden. Man begnügt sich, die Düse während des Stillstandes zurückzuziehen oder ermöglicht durch Oeffnen eines im Düsenständer angebrachten Verschlusses den Zutritt der äusseren Luft, wodurch das Ansaugen von Gas sofort verhindert wird.

Je strengflüssiger die Schlacke, je niedriger die Temperatur im Hochofen und je enger das Gestell ist, desto häufiger wird die Nothwendigkeit eintreten, Ansätze, die sich an den kälteren Formen gebildet hatten, zu entfernen, indem man einen Haken durch die Formöffnung in den Ofen führt, nachdem die Düse zurückgezogen worden ist. Hieraus erklärt es sich, dass man, wo jene Verhältnisse eine häufige Reinigung der Formen nothwendig machen, also insbesondere bei älteren Holzkohlenhochöfen, welche mit nur mässig erwärmtem Winde und in engen Gestellen graues Roheisen darstellen, oft eine recht vielgliedrige Anordnung der Düsenständer findet, dem Zwecke entsprechend, die Düsen vor- und rückwärts bewegen zu können, auch ohne dass eine Abstellung des Windes nothwendig wird. Je stärker man den Wind

erhitzen lernte und je mehr man durch Anwendung hoch erhitzten Windes die Gefahr der Entstehung jener Ansätze beseitigte, desto einfacher ist die Einrichtung der Düsenständer geworden.

Einer jener Düsenständer mit selbstthätig wirkender Verschlussklappe, in den siebziger Jahren eingeführt, ist in Fig. 153 abgebildet. Ausser der Düse *d* besteht er nur aus drei Stücken, dem wagerechten Rohre *c*, dem Krümmer *b* und dem von dem Vertheilungsrohre abgezweigten Rohre *a*. *b* ist an *a* und *c* an *b* durch einfach eingerichtete Kugelgelenke angeschlossen. Zur Herstellung der Verbindung werden die Schmiedeeisenbänder *ee* über die an die Rohrstücke angegossenen

Fig. 153.

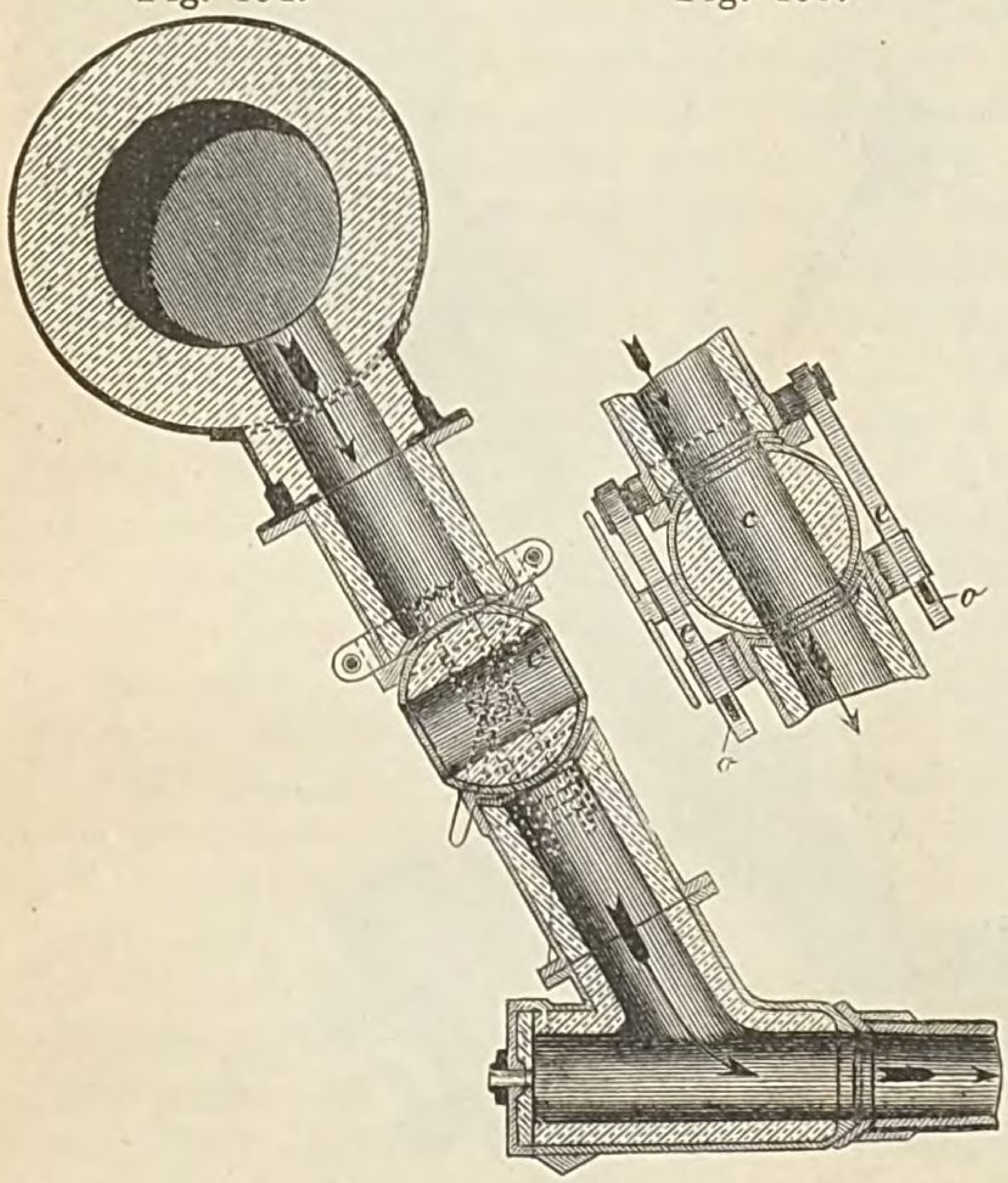


Zapfen übergeschoben und durch Schrauben *ff* fest angezogen; auf diese Weise lässt sich in wenigen Secunden die Verbindung lösen und wieder herstellen, wenn eine veränderte Lage der Düse nothwendig werden sollte. Auch ein Keil, welcher durch Oeffnungen des Bügels hindurchgeht, ist statt der Schraube benutzbar.

In dem Rohrstücke *c* ist die erwähnte Klappe angebracht. Da ihr Drehungspunkt oberhalb des Rohrmittels liegt, muss das Rohr an dieser Stelle vierseitigen Querschnitt erhalten, damit die Drehung der Klappe möglich werde. Auf amerikanischen Eisenwerken hat man dem Klappengehäuse einen durchbrochenen Deckel gegeben; so lange der Wind durch den Düsenständer hindurchgeht und die Klappe geöffnet erhält, schliesst

diese die Durchbrechungen, so dass kein Wind austreten kann; ist der Wind abgestellt und die Klappe zugefallen, so tritt von aussen Luft ein, sobald Verdichtung im Innern stattfindet, und ein Zurücktreten von Gasen findet nicht statt.[1]) Eine ähnliche Einrichtung findet man mitunter auf deutschen Werken. In der äusseren Wand des Kniestückes ist an der Krümmungsstelle eine Oeffnung mit ebenen Randflächen ausgespart, welche durch die sich von innen schräg dagegen legende Klappe geschlossen gehalten wird, so lange gepresster Wind durch den Düsenständer hindurchgeht; wird der Wind abgestellt, so veranlasst ein am Drehungszapfen der Klappe aussen befestigter Hebel mit Gegengewicht das Aufgehen und die äussere Luft hat Zutritt. Bei *c* befindet sich eine durch eine Glimmerplatte verschlossene Schauöffnung, welche die Beobachtung der Vorgänge vor der Form ermöglicht, ohne dass die Düse zurückgezogen zu werden braucht. Bei *g* ist der Düsenständer an dem Tragkranze für den Schacht aufgehängt.

Fig. 154. Fig. 155.



Statt der Klappenverschlüsse oder Schieber, welche mitunter versagen können, sind durch Boecker Hahnverschlüsse eingeführt und auf mehreren Werken zur Anwendung gebracht worden. Die Abbildungen Fig. 154 und 155 zeigen ihre Einrichtung. Der innen mit feuerfestem Material ausgekleidete kugelförmige Hahn *c* dreht sich in Kugellagern, welche an den beiden einander zugekehrten Rohrenden des Düsenständers angebracht sind. Die Drehung wird mit Hülfe eines über den Zapfen des Hahnes gesteckten Schlüssels bewirkt; in der jedesmal gewünschten Stellung wird er durch Zusammenpressen der Kugellager festgehalten, und dieses Zusammenpressen geschieht durch Anziehen der Keile *o o* in den Bügeln *e e*. Soll Drehung stattfinden, so werden die Keile gelockert. Fig. 154 zeigt die Hahnstellung bei Absperrung, Fig. 155 bei Zulass des Windes.

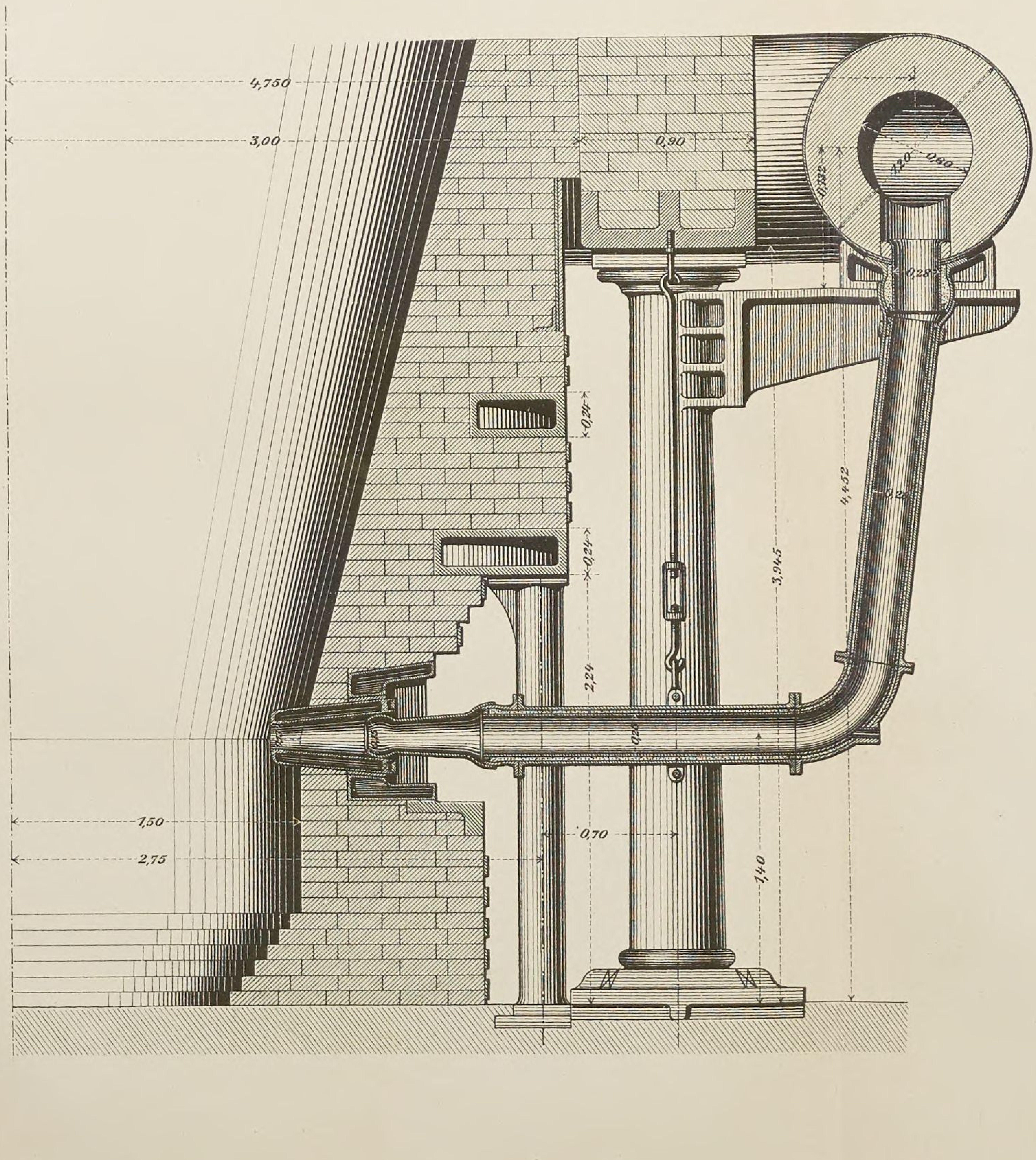
Ein Düsenständer einfachster Einrichtung aus neuester Zeit ist endlich in Fig. 156 abgebildet. An das Vertheilungsrohr schliesst sich durch Vermittelung eines Kugelgelenkes der aus drei Theilen zusammen-

1) A. v. Kerpely, Bericht über die Fortschritte der Eisenhüttentechnik im Jahre 1878, Seite 143; Polyt. Review, vol. V, p. 181; Dinglers polyt. Journal, Band CCXXX, Seite 131.

Düsenstock der Dortmunder Union.

1/40 der wirklichen Grösse.

Fig. 156.



Verlag v. Arthur Felix, Leipzig.

Techn. art. Anst. v. Alfr. Müller, Leipzig-R.

geschraubte, innen mit feuerfester Masse ausgekleidete knieförmige Düsenstock; mit diesem ist ebenfalls durch ein Kugelgelenk die Düse verbunden, deren in die Form hineinragendes Ende auch durch Kugelflächen begrenzt ist. Das Ganze ist in einer beweglichen Eisenstange mit Schraubenschloss so aufgehängt, dass die Düse in die Form sich hineinlegt; ohne Schwierigkeit ist man jedoch im Stande, den Düsenstock rückwärts oder nach der Seite hin zu bewegen, wenn Arbeiten an der Form vorgenommen werden sollen.[1])

Die Düse besteht in jedem Falle aus einer schwach conischen Hülse aus Gusseisen, seltener aus Eisenblech, welche über das Ende des Düsenständers übergeschoben wird und sich leicht auswechseln lassen muss. Mitunter befestigt man sie, wie in Fig. 153 durch Punkte angedeutet ist, durch einen Bayonnetverschluss, so dass eine einfache Drehung genügt, sie zu lösen; mitunter schiebt man sie ohne sonstige Befestigungsvorrichtung nur einfach über das Rohrende. Die Seitenconvergenz der Düse soll etwa 6^0 betragen, weil bei dieser Form sich der günstigste Ausflusscoëfficient ergiebt.

Von dem Querschnitte der Düsenöffnung ist bei gegebener Windpressung die ausgeblasene Windmenge und bei gegebener Windmenge die erforderliche Pressung abhängig. Bei den kleinsten Holzkohlenhochöfen beträgt der Durchmesser dieser Oeffnung mitunter nicht über 25 mm, bei grossen Hochöfen mitunter mehr als 150 mm. Dass der Durchmesser des Formauges nur wenig grösser als der Durchmesser der Düse sei, wurde schon früher erwähnt.

Je heisseren Wind man anwendet, desto mehr stellt sich die Nothwendigkeit heraus, mit „geschlossener Form“ zu arbeiten, d. h. den Zwischenraum zwischen innerer Formwand und Düse zu schliessen, während man in früherer Zeit beim Betriebe mit kälterem oder überhaupt nicht erhitztem Winde meistens einen ringförmigen Zwischenraum offen liess, um die Vorgänge vor den Formen besser als durch das Schauloch am Düsenständer allein beobachten zu können. Bei einer zur Formachse concentrischen Lage der Düse sind zwar Windverluste durch die offene Form nicht zu befürchten; wohl aber wird durch den sich rasch fortbewegenden Windstrahl, zumal wenn der Durchmesser des Formauges etwas reichlich bemessen ist, kalte Luft von aussen her angesaugt und mit in den Ofen geführt, somit der Zweck der Winderhitzung theilweise vereitelt. Man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man leichte Körper, Papierschnitzel, Federn oder dergleichen, in die Nähe der offenen Form bringt; sie werden von dem Luftzuge nach der Form hin bewegt und in den Ofen geführt.

Der Zweck, die Form zu schliessen, lässt sich in mehrfacher Weise erreichen. Bei Fig. 153 ist die Düse mit herumlaufendem Wulst versehen und wird so weit vorgeschoben, dass dieser Wulst den Verschluss bewirkt. Will man aus besonderen Gründen die Düse nicht so weit als hier vorschieben, so kann man statt des Wulstes eine Scheibe auf ihr befestigen, welche an einem weiter rückwärts gelegenen Theile der Form in diese hineinpasst; bei dem Düsenständer Fig. 156 bildet das kugelförmige Ende desselben selbst den Verschluss.

1) Hinsichtlich sonstiger Formen von Düsenständern möge auf die unten gegebene Literatur verwiesen werden.

5. Spannungs- und Temperaturmessungen; Windberechnung.

a) Manometer.

Zur Beaufsichtigung des Hochofenbetriebes sind tägliche öftere Beobachtungen der Windspannung (Pressung) innerhalb der Leitungsröhren erforderlich. Hängt doch von dieser Windspannung unter übrigens gleich bleibenden Verhältnissen die Menge des dem Hochofen zugeführten Windes ab; mit dieser Windmenge aber steht die Geschwindigkeit der Verbrennung, somit auch der ganze Verlauf des Hochofenbetriebes und die Grösse der Roheisenerzeugung des Hochofens in naher Beziehung.

Zum Messen der Windspannung bedient man sich des Manometers.

Im Voraus möge jedoch bemerkt werden, dass eine vollständig genaue Messung der durchschnittlichen Windspannung nicht möglich ist. Einestheils unterliegt bei jedem Cylindergebläse die Windspannung unausgesetzten Schwankungen, wie sich am Manometer selbst erkennen lässt. Anderntheils herrscht an verschiedenen Stellen der Leitung auch eine verschiedene Spannung; sie nimmt unter der Wirkung der von dem Windstrome zu überwindenden Reibung um so mehr ab, je länger der bereits zurückgelegte Weg ist und je grösser und zahlreicher die Widerstände (Krümmungen, Querschnittsverengungen u. a. m.) innerhalb der Leitung sind. Bei Benutzung des Manometers zur Berechnung der Windmenge (siehe unten) wird man es daher in unmittelbarer Nähe der Düse anbringen müssen. Auch innerhalb eines und desselben Querschnitts ist die Spannung nicht überall gleich; sie ist geringer in der Nähe der Röhrenwand, wo durch die Reibung Spannungsverluste (Abminderung der Bewegungsgeschwindigkeit) hervorgerufen werden, grösser in der Mitte des Querschnitts. Endlich kommt in Betracht, dass durch das in die Leitung eingesenkte Manometerrohr leicht Stauungen, Wirbel in dem Windstrome hervorgebracht werden, welche ebenfalls die Richtigkeit der Messung beeinträchtigen.

Für die Windberechnung vermag daher das Manometer nur Annäherungswerthe zu geben; für die regelmässige Beaufsichtigung des Hochofenbetriebes aber besitzen jene Ungenauigkeiten nur eine untergeordnete Bedeutung. Hierbei liegt nicht sowohl die Aufgabe vor, in bestimmten Ziffern die Geschwindigkeit oder Menge des eingeblasenen Windes anzugeben, als vielmehr, ganz allgemein zu prüfen, ob der Hochofen eine gewisse, durch Erfahrung ermittelte regelrechte Windmenge erhalte, die durch einen bestimmten Stand des Manometers angezeigt wird, oder in anderen Fällen diese Windmenge aus besonderen Gründen zu vergrössern oder zu verringern. Für eine derartige allgemeinere Ueberwachung aber bildet das Manometer ein sehr einfaches, auch dem ungebildetsten Arbeiter leicht verständliches Hülfsmittel.

Man pflegt, sofern das Manometer nur für den soeben erwähnten Zweck benutzt werden soll, dessen Rohr derartig an der Windleitung

zu befestigen, dass es rechtwinklig gegen die Achse des Windleitungsrohres gerichtet ist und dass seine Kante mit der Innenwand des letzteren abschneidet. In diesem Falle misst man allerdings nur denjenigen Druck, den der Wind gegen die Rohrwand ausübt. Für genauere Messungen — z. B. für eine genauere Berechnung der Windmenge — würde es sich empfehlen, das Manometerrohr an seinem Ende rechtwinklig umzubiegen, es bis zur Mitte des Windleitungsrohres einzuführen und hier so zu stellen, dass es der Windrichtung genau parallel und dem Strome entgegen gerichtet ist. Durch Ausziehen des dem Winde zugekehrten Endes zu einer Spitze, über deren conische Seiten der Wind hingleiten kann, würde sich die durch die Stauung des Windes entstehende Unrichtigkeit abmindern lassen.[1]) Dass aber auch bei dieser Stellung des Manometers nur die Spannung an der betreffenden Stelle, nicht die mittlere Spannung innerhalb des ganzen Querschnitts gemessen wird, wurde schon erwähnt.

Dass übrigens das Manometer unmittelbar auf der Windleitung angebracht werde, ist keineswegs erforderlich. Meistens wird es bequemer sein, es an einer geschützten Stelle der Wand, wo es leicht sichtbar ist, zu befestigen und durch eine Leitung aus schmiedeeisernen Röhren mit der Windleitung zu verbinden. Pressungsverluste innerhalb dieses Rohres können nicht eintreten, da ja eine Bewegung des Windes innerhalb desselben nicht stattfindet.

Häufig ordnet man zwei Manometer an verschiedenen Stellen der Windleitung an; das eine in der Gebläsestube im Anschlusse an die Leitung für den kalten Wind, ein zweites am Düsenständer. Der Unterschied in der von beiden Manometern angegebenen Spannung ergiebt den Spannungsverlust in der Leitung.

Sofern man das Manometer nur für die allgemeine Beaufsichtigung des Ganges des Gebläses benutzt will, begnügt man sich auch wohl mit dem einen Manometer für den kalten Wind, dessen Herstellung einfacher ist; man verliert aber dadurch auch jede Beurtheilung für den Betrag der Spannungsverluste, welcher für die Ausnutzung der vom Gebläse geleisteten Arbeit von Einfluss ist.

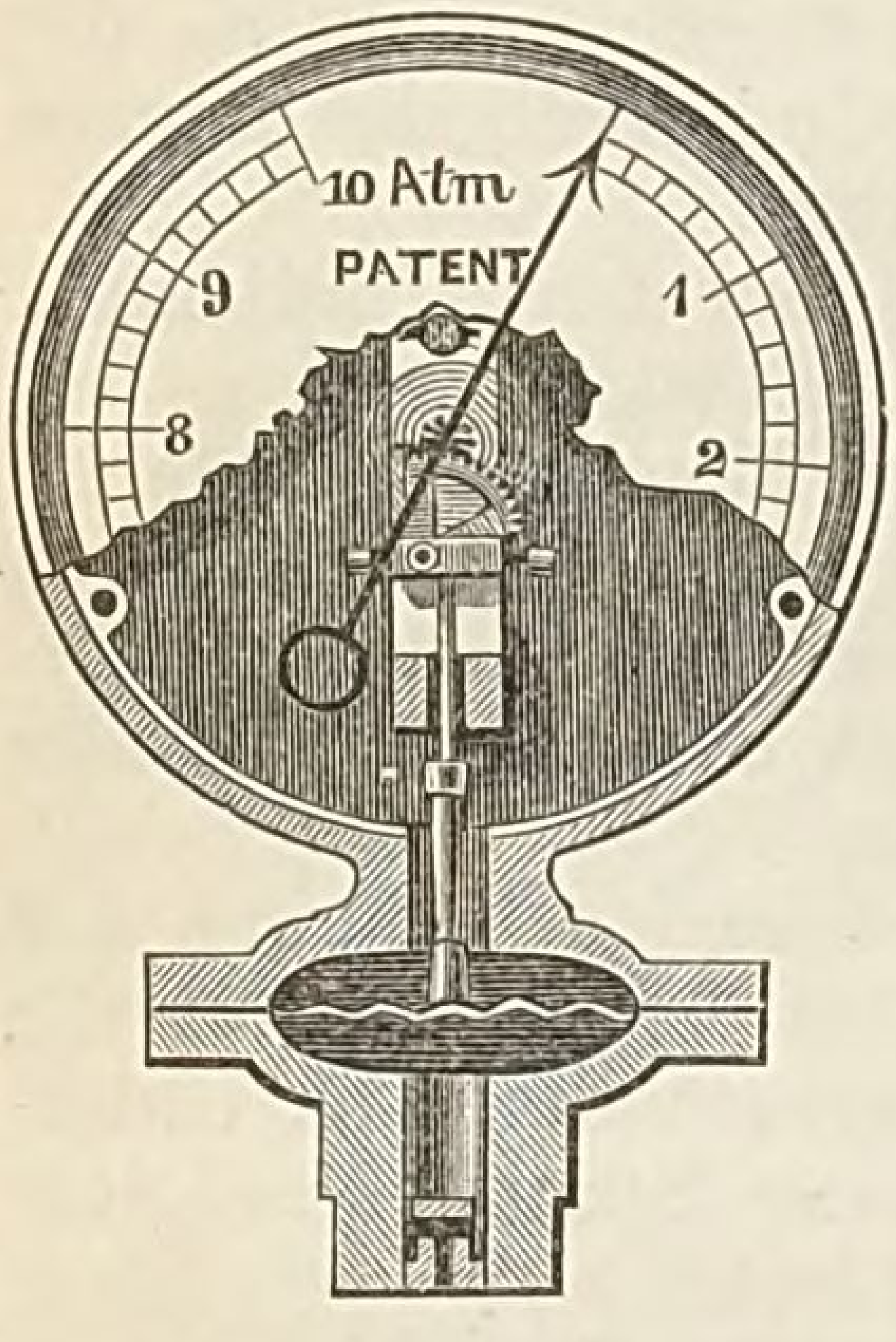
Für die Kaltwindleitung kann man ein Quecksilbermanometer benutzen, bestehend aus einem U-förmig gebogenen, theilweise mit Quecksilber gefüllten Rohre, dessen einer Schenkel mit der Windleitung verbunden ist. Die Höhe, welche die Oberkante der Quecksilbersäule in beiden Schenkeln einnimmt, so lange kein Winddruck herrscht, bildet den Nullpunkt; der Unterschied in dem Höhenstande in den beiden Schenkeln, sobald auf das eine Ende der gepresste Wind drückt, ergiebt die Höhe der Quecksilbersäule, welche mit dem vorhandenen Winddrucke im Gleichgewichte steht. An dem offenen Schenkel pflegt man eine Theilung, von dem Nullpunkte beginnend, anzubringen; in Rücksicht auf den Umstand, dass in dem zweiten Schenkel das Quecksilber ebenso tief unter als in dem ersten über dem Nullpunkte steht, muss man, um die wirkliche Spannung zu finden, die abgelesene Höhe über dem Nullpunkte verdoppeln, oder man wählt von vornherein eine

1) C. Schinz, Studien über den Hochofen zur Darstellung von Roheisen. Seite 83.

solche Theilung, dass man ohne Weiteres den wirklichen Höhenunterschied abliest.[1])

Will man die Windpressung nicht nach der Höhe der Quecksilbersäule, sondern in Kilogrammen auf ein Quadratcentimeter Querschnitt angeben, so lässt sich die Theilung leicht darnach ändern. Eine Quecksilbersäule von 758 mm Höhe übt einen Druck von 1,03 kg auf 1 qcm aus (Atmosphärendruck); 736 mm Gesammthöhe der Quecksilbersäule oder 368 mm über dem Nullpunkte entsprechen also 1 kg Druck, und durch Eintheilung dieser Höhe in Hundertstel lassen sich Ablesungen in ziemlich engen Grenzen bewirken.

Fig. 157.



Häufiger als Quecksilbermanometer, zumal zur Ermittelung der Spannung erhitzten Windes, sind Federmanometer in Benutzung, welche nach denselben Grundsätzen wie die Manometer zur Ermittelung der Dampfspannung bei Dampfkesselanlagen eingerichtet sind. Fig. 157, ein Federmanometer aus der Fabrik von Schäffer & Budenberg in Buckau darstellend, zeigt die innere Einrichtung. Die in dem unteren Theile angebrachte gewellte Plattenfeder wird unter der Spannung des Windes emporgedrückt, wirkt dabei durch Vermittelung der auf ihr befestigten Stange auf einen kleinen Winkelhebel, der hierbei eine entsprechende Drehung ausführt und diese durch ein Getriebepaar auf den ausserhalb der Scala angebrachten Zeiger überträgt. Da durch anhaltende starke Erhitzung die Feder bald leiden würde, empfiehlt es sich, das Zweigrohr, auf dessen Ende das Manometer befestigt ist, ausreichend lang zu machen, so dass die eingeschlossene Luft kühl bleibt. Eine Beeinträchtigung der Richtigkeit in den Angaben des Manometers wird durch die Abkühlung nicht herbeigeführt, da ja die in dem Zweigrohre befindliche Luft, sie mag kalt oder warm sein, demselben Drucke ausgesetzt bleibt, welcher im Leitungsrohre herrscht.

b) Pyrometer.

Nicht minder wichtig als die Messung der Windspannung ist für die Leitung des Hochofenbetriebs die öftere Messung der Windtemperatur, da durch starke Schwankungen der letzteren erhebliche Aenderungen im Verlaufe des Hochofenschmelzens herbeigeführt werden können.

Leider giebt es kaum ein Messwerkzeug, welches in den höheren Temperaturen des erhitzten Gebläsewindes — fast ausnahmlos über 400° und bei Kokshochöfen meistens über 600° C. — bequem zu handhaben und zugleich vollständig zuverlässig ist.

1) Ist die Theilung z. B. nach Millimetern bewirkt, so würden 5 mm Höhenabstand über dem Nullpunkte 10 mm wirkliche Quecksilberhöhe angeben und demnach mit 10 statt 5 zu berechnen sein u. s. f.

Metallpyrometer, deren Wirkung auf der Ausdehnung eines Metallstabes oder auf der verschiedenen Ausdehnung zweier Stäbe aus verschiedenen Metallen beruht, verlieren schon nach kurzem Gebrauche vollständig ihre Zuverlässigkeit.

Mitunter hat man Metalllegirungen von bekannter Schmelztemperatur benutzt, von denen verschiedene gleichzeitig der Einwirkung des Windes ausgesetzt wurden. Für die tägliche mehrmalige Messung ist jedoch das Verfahren zu umständlich; ausserdem besitzen wir nur wenige Legirungen, deren Schmelztemperaturen zwischen 400 und 900° liegen und bereits genau ermittelt wurden.

Recht zuverlässige Ergebnisse erhält man mit einem von Wiborgh erfundenen Pyrometer, dessen Einrichtung auf dem Umstande beruht, dass die Spannung der innerhalb eines Behälters eingeschlossenen Luft im gleichen Verhältnisse mit der Temperatur zunimmt[1]); aber es ist etwas leicht zerbrechlich und seine Handhabung erfordert zunächst einige Uebung. Hierin mag der Grund liegen, dass es bei Hochofenwerken nicht so häufig zur Temperaturmessung des Windes benutzt wird, als es verdient.

Am häufigsten findet man ein Calorimeter in Benutzung, gewöhnlich Siemenspyrometer genannt, obgleich Siemens kaum als der eigentliche Erfinder der Einrichtung gelten kann. Eine Kugel aus Eisen, besser aus Platin, wird der Einwirkung des heissen Windes ausgesetzt, bis sie dessen Temperatur angenommen hat, dann in das mit Wasser gefüllte Calorimeter geworfen. Besondere Vorrichtungen verhindern die Wärmeverluste durch Abgabe nach aussen und ermöglichen eine rasche Wärmeausgleichung. Sobald diese stattgefunden hat, wird mit Hülfe eines in Zehntelgrade getheilten Thermometers die Temperaturzunahme ermittelt; aus dieser, dem Gewichte des Wassers und der spezifischen Wärme der Metallkugel berechnet man die Temperatur der letzteren vor dem Einwerfen in das Wasser und somit auch die Temperatur des erhitzten Windes. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass die spezifische Wärme des Eisens und Platins mit der Temperatur sich verändert. Durch Benutzung einer von Weinhold ausgearbeiteten Tabelle[2]) über die Wärmemengen, welche 1 kg Eisen bei verschiedenen Temperaturen enthält, wird die hieraus erwachsende Schwierigkeit für die Berechnung leicht umgangen.

Bei einiger Uebung in der Benutzung dieses Calorimeters erfordert der ganze Versuch kaum mehr als einige Minuten Zeit, so dass die Anwendung nicht allein für wissenschaftliche Versuche, sondern auch für die tägliche Beaufsichtigung als gut geeignet erscheint.

Elektrische Pyrometer, z. B. das von Siemens erfundene, können zwar für wissenschaftliche Versuche ganz geeignet sein, für die öftere

1) Näheres über die Einrichtung: „Stahl und Eisen" 1888, Seite 699; 1891, Seite 913. Das Pyrometer ist käuflich zu haben bei Geissler Nachfolger Franz Müller in Bonn.

2) Eine ausführliche Beschreibung dieses Calorimeters, sowie die Anleitung für dessen Benutzung findet der Leser in dem Werke: Jul. Post, Chemisch-technische Analyse, 2. Auflage, I. Band, Braunschweig 1889, Seite 68. Tabellen auf Seite 82.

Das Calorimeter selbst kann durch Mechaniker Lorenz in Chemnitz zum Preise von 36 Mark ohne Thermometer bezogen werden.

Benutzung aber durch Personen, welche in der Handhabung feinerer Messwerkzeuge nicht geübt sind, würden sie nicht tauglich sein.[1])

c) Die Windberechnung.

Um ein möglichst deutliches Bild aller bei dem Betriebe eines Hochofens maassgebenden Verhältnisse zu erhalten, wird der Eisenhüttenmann mitunter in die Lage kommen, die Menge des dem Hochofen in bestimmten Zeiträumen (gewöhnlich in der Minute) zugeführten Windes zu ermitteln.

Zur Lösung dieser Aufgabe giebt es verschiedene Wege.

Das einfachste Verfahren, welches allerdings nur Annäherungswerthe innerhalb ziemlich weiter Grenzen liefert, beruht auf dem Kohlenstoffverbrauche des Hochofens innerhalb der bestimmten Zeit.

Aller Kohlenstoff, welcher vor die Formen des Hochofens gelangt, wird hier durch den Sauerstoff des eingeblasenen Windes zu Kohlenoxyd verbrannt. Da das Verhältniss zwischen dem Sauerstoffgehalte der Gebläseluft zu ihrer Gesammtmenge bekannt ist, würde man, sofern aller dem Hochofen durch die Gicht zugeführte Kohlenstoff auch bis vor die Formen gelangte, mit Leichtigkeit im Stande sein, auf Grund jenes Verhältnisses die Menge der zugeführten Luft zu berechnen. Wenn A den in Kilogrammen ausgedrückten Brennstoffverbrauch des Hochofens in 24 Stunden, p den Kohlenstoffgehalt von 1 kg des benutzten Brennstoffs, Q den Windverbrauch in der Minute bezeichnet, so wäre

$$Q = \frac{A\,p}{320} \text{ Cubikmeter.}$$

Ein Theil des Kohlenstoffs aber wird in jedem Hochofen zur unmittelbaren Reduction der Erze verbraucht, ohne vor die Formen zu gelangen; ein anderer wird durch das Eisen aufgenommen und von diesem wieder aus dem Ofen geführt. Der wirkliche Windverbrauch ist also geringer, und man hat, um einen Annäherungswerth zu erhalten, die obige Ziffer mit einer Verhältnisszahl zu multipliciren, welche bei den meisten Hochöfen zwischen 0,75 — 0,85 schwankt und durchschnittlich um so niedriger ausfällt, je schwieriger reducirbar die Erze sind.

Ein anderes nicht minder einfaches, aber ebenfalls nur Annäherungswerthe lieferndes Verfahren stützt sich auf die Grösse der Kolbenfläche und der Kolbengeschwindigkeit des Gebläses in der Minute. Theoretisch wird offenbar von einem Cylindergebläse eine Windmenge geliefert, welche aus der Kolbenfläche mal der Kolbengeschwindigkeit sich ergiebt; wegen des vorhandenen schädlichen Raumes sowie der Unvollständigkeit in der Wirkung der Verschlussklappen oder Ventile saugen aber die Cylindergebläse niemals die volle, dem Inhalte der Cylinder entsprechende Windmenge an, und ein Theil des angesaugten Windes

1) Einen Bericht über vergleichende Versuche hinsichtlich der Verwendbarkeit verschiedener hier nicht genannter Pyrometer findet der Leser in „Stahl und Eisen" 1892, Seite 893 (Blass); auch Seite 604 und 606 desselben Jahrganges.

geht auf dem Wege nach dem Hochofen wieder verloren. Nach Hauer[1]) darf man die Nutzleistung des Gebläses sammt Windleitung nicht höher als 0,7 annehmen; beträgt also Q die Windmenge, welche der Hochofen in der Minute erhält, F die Kolbenfläche sämmtlicher zu einander gehöriger Gebläsecylinder in Quadratmetern, G die Geschwindigkeit der Gebläsekolben in der Minute in Metern, so ist

$$Q = 0{,}7\,F.G.$$

Bei mangelhaft ausgeführten oder im Stande erhaltenen Gebläsen oder Windleitungen wird allerdings Q erheblich niedriger ausfallen können.

Ist die Geschwindigkeit des aus der Düse ausströmenden Windes und der Düsenquerschnitt bekannt, so ist das Ergebniss beider, multiplicirt mit einer durch Erfahrung ermittelten Verhältnisszahl für den Ausfluss die ausströmende Windmenge von der im Ausflussquerschnitte herrschenden Spannung und Temperatur; und durch entsprechende Umrechnung lässt sich aus dieser die Luftmenge von Null Grad Temperatur und gewöhnlicher Spannung (760 mm Barometerstand) berechnen. Die Geschwindigkeit der austretenden Luft ergiebt sich aus der durch das Manometer gemessenen Windspannung.

Bezeichnet Q die aus einer Düse austretende Windmenge in Cubikmetern in der Minute, umgerechnet auf den angegebenen Barometerstand und Null Grad Temperatur, h_1 die am Manometer abgelesene Windspannung, ausgedrückt durch die Höhe einer Quecksilbersäule in Metern, h_2 die im Ofen vor den Formen herrschende Spannung, ebenso wie h_1 gemessen, d den Durchmesser der Düse in Metern, f eine Verhältnissziffer, welche von der Temperatur des Windes (t_1) und dem Barometerstande b abhängig ist, λ eine Verhältnissziffer, welche wegen des Umstandes nothwendig wird, dass die Luft bei höheren Windspannungen auch ihre Temperatur ändert (bei geringeren Pressungen kann $\lambda = 1$ gesetzt werden), so ist

$$Q = 18\,740\, f \lambda d^2 \sqrt{h_1 - h_2} \text{ Cubikmeter.}$$

Für f gelten folgende Werthe:

$b + h_2$ in Metern Quecksilber	bei einer Windtemperatur von 250	300	350	400	450	500	550 Grad Celsius.
0,80	0,73	0,70	0,67	0,65	0,63	0,60	0,58
0,85	0,75	0,73	0,70	0,67	0,65	0,62	0,60
0,90	0,77	0,75	0,72	0,69	0,66	0,64	0,62
0,95	0,80	0,77	0,74	0,71	0,68	0,66	0,63
1,00	0,82	0,79	0,76	0,73	0,70	0,68	0,65
1,05	0,84	0,80	0,77	0,74	0,72	0,69	0,66
1,10	0,86	0,82	0,79	8,76	0,74	0,71	0,68
1,20	0,89	0,86	0,83	0,80	0,77	0,74	0,71
1,30	0,93	0,90	0,86	0,83	0,80	0,77	0,74

1) Hüttenwesensmaschinen, Seite 63.

Für λ ist zu setzen:

$b + h_2$ in Metern Quecksilber	$h_1 - h_2$ in Metern Quecksilber				
	0,1	0,5	1,0	1,5	2
0,8	1,00	0,98	0,96	0,94	0,92
1,0	1,00	0,98	0,97	0,95	0,94
1,3	1,00	0,99	0,98	0,96	0,95

Ausführlichere Tabellen enthält das schon genannte Buch: J. v. Hauer, die Hüttenwesensmaschinen, 2. Aufl., S. 509, aus welchem die Tabellen auch im Sonderabdrucke erschienen sind.

Die Berechnung mit Hülfe der mitgetheilten Formel und der erwähnten Tabellen würde ziemlich genaue Ergebnisse liefern, wenn es möglich wäre, die durchschnittlich richtigen Werthe für h_1 und h_2, d. h. für die Windspannung in der Düse und die Gasspannung im Ofen zu ermitteln. Die Gründe, weshalb h_1 nur mit annähernder Richtigkeit gemessen werden kann, wurden schon oben erörtert; noch grösser ist die Schwierigkeit, für h_2 einen richtigen Werth zu finden. Eine Messung mit Hülfe eines in den Ofen geschobenen Rohres, an dessen äusserem Ende das Manometer befestigt ist, liefert jedenfalls zweifelhafte Ergebnisse, da die Gasspannung in einem und demselben Querschnitte des Gestells noch grössere Abweichungen zeigen wird als in der Windleitung; ein von Rittinger vorgeschlagenes Verfahren, den Wind aus derselben Düse, welche ihn zuerst in den Ofen führte, dann bei gleicher Anzahl Spiele des Gebläses in die freie Luft ausströmen zu lassen und die Spannung zu messen, um nunmehr ohne Weiteres (da jetzt h_2 = Null ist) die ausgeblasene Windmenge zu berechnen, dürfte doch, wenn sie richtig ausgeführt werden soll, wenigstens beim Hochofenbetriebe nicht unerheblichen Schwierigkeiten begegnen.[1])

Ein letztes Verfahren der Windberechnung, welches allerdings nur ausnahmsweise angewendet werden kann, dann aber die zuverlässigsten Ergebnisse liefern dürfte, stützt sich auf den Umstand, dass der Stickstoff der eingeblasenen Luft unverändert, ohne erheblich vermehrt oder verringert zu werden, in den Gichtgasen wieder gefunden wird. Ist also die Zusammensetzung der letzteren und ihre Menge innerhalb bestimmter Zeiträume bekannt, so lässt sich, da in der atmosphärischen Luft 79 Raumtheile Stickstoff neben 21 Raumtheilen Sauerstoff enthalten sind, mithin 100 Raumtheile Stickstoff 126,5 Raumtheilen atmosphärischer Luft entsprechen, die Menge der eingeblasenen Luft berechnen.

Die Zusammensetzung der Gichtgase wird durch chemische Untersuchung ermittelt; ihre Menge ergiebt sich aus der Menge des Kohlenstoffs, welcher in bestimmten Zeiträumen theils aus dem Brennstoffe, theils aus den kohlensäurehaltigen Erzen und Zuschlägen dem Hochofen zugeführt wurde, nach Abzug der durch das Roheisen aufgenommenen

1) Vergl. C. Schinz, Studien über den Hochofen zur Darstellung von Roheisen, Augsburg 1871, Seite 83.

kleinen Menge. Aller nicht vom Roheisen aufgenommene Kohlenstoff findet sich in den Gichtgasen wieder.

Es sei

k_1 der durch den Brennstoff,

k_2 der durch den Kalkstein und kohlensäurehaltige Erze dem Hochofen in der Minute zugeführte Kohlenstoff in Kilogrammen;

k_3 der von dem in der Minute erzeugten Roheisen aufgenommene Kohlenstoff, ebenfalls in Kilogrammen,

so entweichen aus der Gicht in der Minute $k_1 + k_2 - k_3$ kg Kohlenstoff. Dieser Kohlenstoff tritt gewöhnlich in drei verschiedenen Verbindungen in den Gichtgasen auf: in der Kohlensäure, dem Kohlenoxyd und dem Kohlenwasserstoff. Kohlensäure enthält 0,2727 ihres eigenen Gewichtes Kohlenstoff, Kohlenoxyd 0,4286, leichtes Kohlenwasserstoffgas 0,75. Aus der Zusammensetzung der Gichtgase ergiebt sich also leicht die Menge Kohlenstoff, welche von jedem der erwähnten Bestandtheile derselben aus der Gicht geführt wird; und da die Gesammtmenge des in der Minute entweichenden Kohlenstoffs nach Obigem $= k_1 + k_2 - k_3$ ist, so lässt sich leicht auch die Menge der in der Minute ausströmenden Gase ermitteln. Aus dem Verhältnisse des Stickstoffs zu der Gesammtmenge der Gichtgase ergiebt sich dann der gesammte in der Minute ausströmende Stickstoffgehalt und aus diesem die Menge der eingeblasenen Luft.

Ein von Stöckmann[1]) gegebenes, dem Betriebe entnommenes Beispiel möge als Erläuterung hierfür dienen.

Bei einem früheren Hochofen des Eisenwerkes Phoenix zu Laar bei Ruhrort betrug die Zusammensetzung der Gichtgase:

Stickstoff	55,76	Raumtheile oder	54,79	Gewichtstheile
Kohlensäure	9,99	„ „	15,42	„
Kohlenoxyd	24,88	„ „	24,45	„
Kohlenwasserstoff CH_4 . .	0,40	„ „	0,22	„
Wasserstoff	0,97	„ „	0,07	„
Wasserdampf	8,00	„ „	5,05	„
	100,00	Raumtheile oder	100,00	Gewichtstheile.

Mithin enthalten die Gase Kohlenstoff:

in der Kohlensäure . .	15,42 . 0,2727 =	4,21	Gewichtstheile
in dem Kohlenoxyd . .	42,86 . 0,4286 =	10,48	„
in dem Kohlenwasserstoff	0,22 . 0,75 =	0,17	„
	Summa	14,86	Gewichtstheile

und es vertheilt sich 1 Kilogramm des in den Gichtgasen enthaltenen Kohlenstoffs folgendermaassen auf die einzelnen Bestandtheile der Gichtgase:

Kohlensäure	0,283 kg
Kohlenoxyd	0,705 „
Kohlenwasserstoff	0,012 „
	1,000 kg

Bei einer täglichen Roheisenerzeugung des Hochofens von 40000 kg, einem Koksverbrauche von 1300 kg auf 1000 kg Roheisen und einem Kohlenstoffgehalte der Koks von 77 Hunderttheilen beträgt die durch

1) C. Stöckmann, Die Gase des Hochofens und der Siemens-Generatoren, Ruhrort 1876, Seite 35.

den Brennstoff dem Hochofen in 24 Stunden zugeführte Kohlenstoffmenge 40 040 kg.

Die Erze sind frei von Kohlensäure. Der Kohlensäuregehalt des Kalksteines beträgt 43 Hunderttheile oder der Kohlenstoffgehalt 11,73 Hunderttheile; der tägliche Verbrauch an Kalkstein beziffert sich auf 48 000 kg. Demnach ist die Menge des durch den Kalkstein dem Hochofen in 24 Stunden zugeführten Kohlenstoffs 5630 kg.

Das erzeugte Roheisen enthält 4 Hunderttheile Kohle; mithin beträgt die Gesammtmenge des in 24 Stunden von dem Roheisen aufgenommenen Kohlenstoffs 40 000 . 0,04 = 1600 kg.

In den Gichtgasen werden also in 24 Stunden 40 040 + 5630 — 1600 = 44 070 kg aus dem Ofen geführt.

Der oben mitgetheilten Vertheilung des Kohlenstoffs auf die einzelnen Gasarten gemäss würde man berechnen können, wie viel Gesammtkohlenstoff in 24 Stunden auf jedes dieser Gase entfällt; es genügt indessen, die Ermittelung für eins der Gase anzustellen und dann aus dem Gehalte des letzteren in dem Gasgemische die Menge des letzteren zu berechnen.

So z. B. entfällt, da nach den obigen Ziffern von je 1 kg Gesammtkohlenstoff 0,705 kg im Kohlenoxyd auftreten, auf dieses letztere Gas eine Kohlenstoffmenge in 24 Stunden = 44 070 . 0,705 = 31 069 kg.

Diese 31 069 kg Kohlenstoff sind enthalten in 72 494 kg Kohlenoxyd, welche, da 1 cbm Kohlenoxyd 1,25456 kg wiegt, einen Rauminhalt von 58 000 cbm einnehmen. Da nun die Gichtgase der mitgetheilten Zusammensetzung gemäss 24,88 Raumtheile Kohlenoxydgas in 100 Raumtheilen enthalten, beträgt die gesammte in 24 Stunden der Gicht entströmende Gasmenge 233 120 cbm, oder

$$\text{in der Minute } \frac{233\,120}{24\,.\,60} = 162 \text{ cbm.}$$

Diese 162 cbm Gas enthalten 55,76 Hunderttheile oder 90 cbm Stickstoff, welche unverändert durch den Ofen hindurchgehen. 90 cbm aber entsprechen 114 cbm Luft, welche dem Hochofen durch das Gebläse in der Minute zugeführt wurden.

Der Kohlensäuregehalt der atmosphärischen Luft kann seiner Geringfügigkeit halber bei dieser Rechnung vernachlässigt werden, ohne dass das Ergebniss dadurch erheblich an Richtigkeit einbüsst.

Auf den Rauminhalt des Hochofens bezogen, welcher den Wind empfängt, beträgt das Verhältniss $\frac{\text{Windmenge in der Minute}}{\text{Rauminhalt}}$

bei deutschen Hochöfen etwa	1,0 bis 1,2
„ nordamerikanischen Hochöfen	1,2 „ 1,4

ausnahmsweise auch wohl noch etwas mehr.[1])

Literatur.

a) Grössere Werke.

Julius v. Hauer, Die Hüttenwesenmaschinen. Zweite Auflage, Leipzig 1876, S. 1—202. (Gebläse und Windleitung.)

1) Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. XX, p. 255.

J. Schlink, Ueber Gebläsemaschinen. Sonderabdruck aus Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen. Berlin 1880.

L. Gruner, Abhandlungen über Metallurgie; übersetzt von Franz Kupelwieser. Paris 1877. Bd. I, S. 317—333 (Gebläse), S. 346—366 (Windleitungen und Windberechnung), S. 368—421 (Winderhitzer). Theilweise veraltet.

b) Abhandlungen.

H. Fehland, Die älteren und neueren Gebläsemaschinen. „Stahl und Eisen" 1884, S. 605; 1885, S. 373.

Majert, Die älteren und neueren Gebläsemaschinen. „Stahl und Eisen" 1884, S. 718; 1885, S. 373.

Hochofen-Gebläse-Compoundmaschine. „Stahl und Eisen" 1885, S. 196.

R. Volkmann, Zwillingsmaschine für die Hochöfen der Pennsylvania Steel Co. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1891, S. 457.

Stehende Zwillingsgebläsemaschine. „Stahl und Eisen" 1888, S. 211.

Die Weimersche Gebläsemaschine. „Stahl und Eisen" 1887, S. 366.

Liegende Gebläsemaschinen von grossen Abmessungen. „Stahl und Eisen" 1888, S. 3.

Eine amerikanische Normalgebläsemaschine für Hochofenbetrieb. „Stahl und Eisen" 1892, S. 465.

A. v. Ihering, Ueber die Constructionsverhältnisse der Gebläsemaschinen Rheinland-Westfalens, Oberschlesiens und Oesterreich-Ungarns. „Stahl und Eisen" 1892, S. 1022.

M. L. Gruner, Notice sur les appareils à air chaud. Annales des mines, série 7, tome II, p. 305. (Besprechung älterer Winderhitzer.)

J. M. Hartmann, Regenerative stoves, a sketch of their history and notes of their uses. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. VIII, p. 53.

F. W. Gordon, The Whitwell firebrick hotblast stove and its recent improvements. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. IX, p. 480.

Wiebner, Ueber die Wirksamkeit der neuen eisernen Winderhitzungsapparate auf Gleiwitzer Hütte. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preuss. Staate 1882, S. 178.

Fr. Lürmann, Ueber Winderhitzungsapparate. Vortrag, gehalten in der Generalversammlung des Vereins deutscher Eisenhüttenleute. „Stahl und Eisen" 1883, S. 23.

H. Fehland, Ueber Winderhitzungsapparate bei Hochöfen. „Stahl und Eisen" 1883, S. 330.

Winderhitzungsapparate der Edgar Thomson Werke. „Stahl und Eisen" 1883, S. 166.

C. Steffen, Beitrag zur Frage der Winderhitzungsapparate. „Stahl und Eisen" 1883, S. 241.

E. A. Cowper, On recent improvements in Cowper-hot-blast-firebrick-stoves. Journal of the Iron and Steel Institute 1883, p. 576; daraus in „Stahl und Eisen" 1883, S. 360, 611.

F. W. Lürmann, Verschiedene Steinausfüllungen für Winderhitzer. „Stahl und Eisen" 1884, S. 484.

H. Macco, Ueber steinerne Winderhitzer. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ingenieure 1886, S. 520.

B. Kosmann, Neue Steinformen für Winderhitzungsapparate. „Stahl und Eisen" 1886, S. 795.

F. W. Lürmann, Verbesserung an Cowper-Apparaten. „Stahl und Eisen" 1889, S. 774.

Neuer steinerner Winderhitzer. „Stahl und Eisen" 1887, S. 622.

F. W. Lürmann, Die Entwickelung der Ausmauerung steinerner Winderhitzer. „Stahl und Eisen" 1890, S. 766.

F. W. Lürmann, Steinerne Winderhitzer. „Stahl und Eisen“ 1892, S. 568.

H. Dornbusch, Ueber Düsenvorrichtungen bei Hochöfen. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure, Bd. XXI, S. 103.

Ueber neuere Düsenstöcke. Dinglers polyt. Journal, Bd. CCLXIV, S. 216.

Neuer Düsenstock von Lürmann. „Stahl und Eisen“ 1890, S. 692.

Ueber neuere Methoden der Wärmemessung (Pyrometer). Dinglers polyt. Journal, Bd. CCLI, S. 412; Bd. CCLIV, S. 158.

Elektrische Pyrometer. „Stahl und Eisen“ 1892, S. 656.

IV. Die Gichtaufzüge.

Nur in seltenen Fällen ist die Lage eines Hochofens eine solche, dass man im Stande ist, die mit Erzen, Zuschlägen oder Brennstoffen beladenen Karren von einem entsprechend hoch gelegenen Lagerplatze aus ohne Weiteres über eine Brücke nach der Gicht zu befördern. Häufiger ist man genöthigt, eine mechanische Hebevorrichtung anzuordnen, mit deren Hülfe jene Karren emporgehoben und nach bewirkter Entleerung wieder herabgelassen werden.

Diese Hebevorrichtung heisst der Gichtaufzug.

Zur Aufnahme der erwähnten Karren dient eine entsprechend grosse Plattform oder Förderschale, welche gehoben und gesenkt wird. Einzelne Gichtaufzüge besitzen nur eine einzige derartige Förderschale, so dass abwechselnd nur Aufgang oder nur Niedergang stattfinden kann, und heissen einfachwirkend; andere sind mit zwei Förderschalen versehen, von denen die eine steigt, während die andere sinkt, und diese heissen doppeltwirkende Aufzüge.

Die Bewegung erfolgt, sofern nicht ganz besondere Verhältnisse die Anordnung einer Bahn auf geneigter Ebene rechtfertigen, in senkrechter Richtung.[1]) Die Förderschale bewegt sich dabei, um vor Schwankungen geschützt zu sein, zwischen Führungen, und das Ganze ist in einem Gichtthurme, bei neueren Anlagen noch häufiger in einem einfachen, aus Schmiedeeisen hergestellten Fahrgerüste angeordnet.

Der Gichtthurm oder das Fahrgerüst steht seitlich neben dem Hochofen und ist mit ihm durch eine, am zweckmässigsten aus Eisen gefertigte, Brücke verbunden. Sind mehrere Hochöfen vorhanden, so pflegt man für je zwei Hochöfen einen gemeinschaftlichen Gichtaufzug anzuordnen, welcher dann zwischen beiden seine Stelle erhält und mit jedem von ihnen durch eine gemeinschaftliche Gichtbrücke in Verbindung steht.

Nur in seltenen Fällen bedient man sich noch der menschlichen

1) Auf einigen nordamerikanischen Eisenwerken fördert man auf schräger, bis über die Gicht führender Ebene mit selbstthätig wirkender Vorrichtung zum Kippen und Entleeren der Wagen, sobald sie über der Gicht angelangt sind. Näheres hierüber Iron Age 1887 vom 21. Juli und 1. September; daraus in „Stahl und Eisen“ 1887, Seite 695.

Arbeit — an einem Haspel wirkend — zum Betriebe des Gichtaufzuges. Gewöhnlich benutzt man Dampfkraft, mitunter Wasserkraft. Verschieden aber ist die Art und Weise, in welcher diese Kraft für die Bewegung des Gichtaufzuges nutzbar gemacht wird, und man unterscheidet demnach verschiedene Gattungen von Gichtaufzügen, deren wichtigste in Folgendem kurz besprochen werden sollen.

a) Gichtaufzüge mit unmittelbarer Seilbewegung.

Diese Gichtaufzüge sind fast regelmässig doppeltwirkend. Die beiden Förderschalen hängen an Drahtseilen, welche oberhalb der Gicht über eine oder zwei Seilscheiben geschlungen sind. Durch abwechselnde Bewegung der Seilscheiben in der einen oder andern Richtung erfolgt Auf- und Niedergang der Scheiben.

Meistens werden diese Aufzüge durch eine Dampfmaschine betrieben und bilden in dieser Form die grösste Zahl sämmtlicher Gichtaufzüge. Die verhältnissmässige Einfachheit ihrer Anordnung, die Billigkeit der Anlage und Wartung sind entschiedene Vorzüge.

Bei kleinen Hochöfen mit langsamem Gichtenwechsel legt man mitunter die zum Betriebe dieser Aufzüge erforderliche Dampfmaschine auf die Gicht und erlangt dadurch den Vortheil, dass die Gichtarbeiter selbst die Bedienung der Maschine übernehmen können, ohne dass ein besonderer Maschinenwärter dafür erforderlich ist. Eine kleine, mit Umsteuerungsvorrichtung versehene Dampfmaschine treibt unmittelbar eine Seilscheibe, über welche das zum Tragen der beiden Förderschalen dienende Seil gelegt ist.

Dampfmaschinen für den Betrieb grösserer Hochöfen dagegen, welche eine entsprechend grössere Leistungsfähigkeit und grössere Abmessungen verlangen, lassen sich nicht wohl auf der Gicht des Hochofens anordnen. Es kommt hinzu, dass mit der Höhe des Ofens auch die Länge der Dampfleitung nach der Gicht zunehmen muss; die Nothwendigkeit aber, den Dampf nach der Gicht zu leiten, bildet entschieden eine schwache Seite jener Anordnung. Man stellt also in diesem Falle die Dampfmaschine zu ebener Erde in einem besonderen Maschinenhause auf und pflegt eine liegende Zwillingsmaschine ohne Schwungrad dafür zu wählen. Diese Dampfmaschine treibt zunächst eine ebenfalls unten liegende Seiltrommel, von welcher aus zwei sich in entgegengesetzter Richtung auf- und abwickelnde Seile nach der Gicht und hier über zwei Seilscheiben geführt sind. An den entgegengesetzten Enden der Seile hängen die Förderschalen.

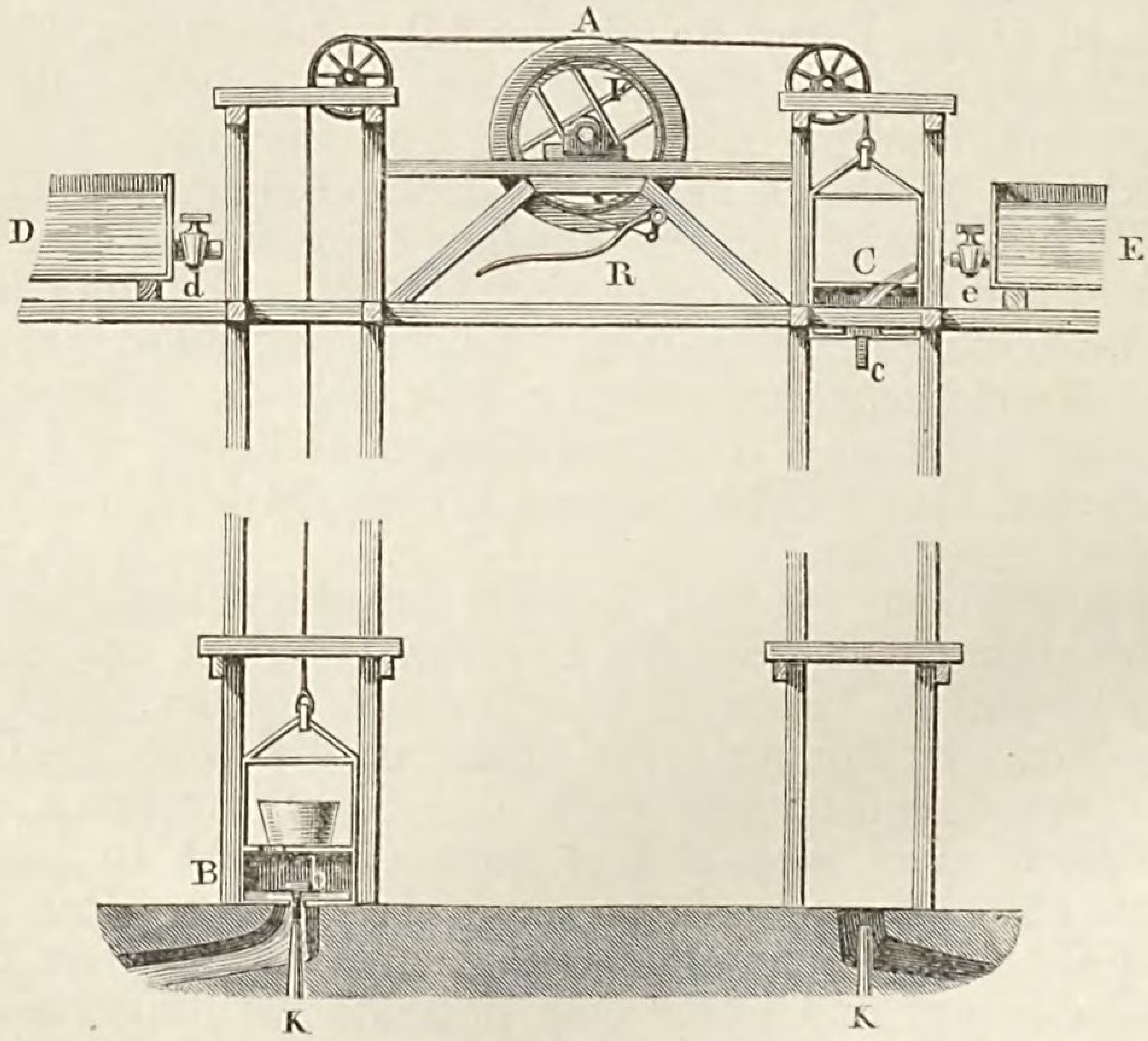
Aehnlich wie in letzterem Falle kann die Einrichtung sein, wenn man ein Wasserrad für den Betrieb benutzt. Man wendet ein Kehrrad an, d. h. ein in zwei Abtheilungen mit entgegengesetzter Schaufelung getheiltes Rad, welches sich in der einen oder andern Richtung dreht, je nachdem man das Wasser in diese oder jene Abtheilung leitet.

Man pflegt den in Rede stehenden Gichtaufzügen bei kleineren Hochöfen eine Bewegungsgeschwindigkeit von 0,5—1 m, bei grösseren von 1—2 m in der Secunde zu geben.

b) Wassertonnenaufzüge.

Auch diese Aufzüge sind doppeltwirkend. Beide Schalen hängen an den Enden eines über eine Seilscheibe oberhalb der Gicht gelegten Seiles. Unter jeder Förderschale befindet sich ein aus Eisenblech zusammengenietetes Wassergefäss, welches an der Gicht mit Wasser gefüllt wird. Durch das hierbei entstehende Uebergewicht wird die oben befindliche, mit den entleerten Gichtkarren belastete Schale zum Niedergange gebracht, während die unten mit den gefüllten Karren beladene Schale steigt. Sobald die sich abwärts bewegende Schale unten angekommen ist, öffnet sich selbstthätig ein in ihrem Boden angebrachtes Ventil, und das als Füllung dienende Wasser strömt aus.

Fig. 158.



Die Skizze Fig. 158 lässt diese Einrichtung erkennen. *B* und *C* sind die beiden Förderschalen, durch ein über die Scheibe *A* gelegtes Seil verbunden, *D* und *E* sind Wasserbehälter zur Zuleitung des Wassers, welches nach dem Oeffnen der Hähne *d* und *e* durch eine Oeffnung in dem Deckel der Schale in das unter derselben befindliche Gefäss einströmt, *b* und *c* sind die erwähnten Ventile, welche unten durch Aufstossen auf die Stifte *K K* geöffnet werden und das Wasser abfliessen lassen.

Ein gewisses Uebergewicht an Wasser ist erforderlich, um die erste Bewegung hervorzubringen; ausserdem ist es zur Ueberwindung der Reibungswiderstände nothwendig, dass eine etwas grössere Wassermenge von dem Gefässe aufgenommen werde, als der zu hebenden Last allein entsprechen würde. Man pflegt die Gefässe daher doppelt so gross zu fertigen, als zur einfachen Gewichtsausgleichung nothwendig

sein würde, und unterbricht den Zufluss des Wassers, sobald man an dem Rucken der Schale merkt, dass ein genügendes Uebergewicht vorhanden ist.

Den Gesetzen des Falls gemäss tritt während des Niederganges eine zunehmende Beschleunigung des Geschwindigkeit ein. Das Gewicht der abwärts bewegten Theile aber vergrössert sich während des Niederganges infolge des Umstandes, dass das Seilgewicht beim Beginne der Bewegung grösser an der Seite des Aufgangs war, wo die Schale sich unten befand, hier aber, je weiter die Schale steigt, immer geringer wird und an der entgegengesetzten Seite wächst. Wollte man also die Schalen sich selbst überlassen, so würden sie mit heftigem Stosse unten aufschlagen. Zur Vermeidung dieser Gefahr ist die Anbringung einer Bremse (*R* in Fig. 158) unerlässlich, mit deren Hülfe die Bewegungsgeschwindigkeit geregelt werden kann. Auch bei den grössten Hochöfen pflegt die Zeitdauer eines Aufganges nicht über 3 Minuten zu betragen, da erst gegen Ende des Hubes jene Abminderung der Beschleunigung nothwendig wird.

Damit aber die auf der Gicht angelangte noch belastete Schale nicht etwa ohne Weiteres wieder sich abwärts bewege, wenn aus der unten befindlichen Schale das Wasser ausfliesst, ist die Anbringung einer selbstthätig wirkenden Feststellung für die oben befindliche Schale erforderlich. Sie kann aus einzelnen Nasen oder Knaggen bestehen, welche beim Aufsteigen der Schale von dieser selbst zur Seite geschoben werden, um den Weg frei zu lassen, durch Vermittelung einer Feder oder eines Gegengewichtes aber sofort unter die Schale geschoben werden, sobald diese oben angekommen ist. Ein Handhebel oder eine sonstige einfache Vorrichtung dient zum Zurückziehen, wenn die Schale frei werden soll.

Wendet man zum Füllen der auf der Gicht befindlichen Wasserbehälter eine von der Betriebsmaschine für das Gebläse betriebene Druckpumpe an, welche unausgesetzt das Wasser empor befördert, so genügt eine verhältnissmässig geringe Kraftleistung, um die für den Betrieb des Aufzuges wiederkehrend erforderlichen Wassermengen in den Behältern anzusammeln, und die Anlage einer besondern Betriebsmaschine für den Aufzug wird entbehrlich. Noch einfacher gestaltet sich die Anlage, wenn man — wie es in gebirgigen Gegenden mitunter der Fall ist — ein natürliches Gefälle zur Zuleitung des Wassers benutzen kann.

In diesem Umstande liegt der Hauptvortheil der Wassertonnenaufzüge. Sie erfordern unter sämmtlichen Gattungen von Gichtaufzügen die geringsten Anlagekosten, sehr geringe Betriebskosten und sind leicht zu bedienen, so dass die Einsicht des rohesten Arbeiters ausreicht, ihre Wartung zu übernehmen.

Ein entschiedener Nachtheil dagegen tritt bei Frostwetter zu Tage; nicht allein frieren die zur Gicht hinaufführenden Wasserleitungsröhren leicht ein, zerspringen wohl gar durch Einwirkung des Frostes und müssen sorgfältig geschützt werden; auch der zur Ableitung des verbrauchten Wassers dienende Kanal kann, wenn er lang ist und verhältnissmässig geringes Gefälle besitzt, durch Eisbildung verstopft werden. Je länger die Wasserleitung — je höher also der Hoch-

ofen — und je kälter das Klima ist, desto empfindlicher tritt dieser Uebelstand zu Tage.

Hierin liegt vornehmlich der Grund, weshalb man bei neueren Anlagen die Wassertonnenaufzüge, welche in früherer Zeit ihrer erwähnten Vortheile halber zu den am häufigsten benutzten zählten, verhältnissmässig selten zur Anwendung bringt.

c) Hydraulische oder Wassersäulenaufzüge.

Diese Aufzüge sind einfach wirkend und kommen bei Neuanlagen von Hochöfen nicht mehr in Benutzung.

In einem senkrecht stehenden Cylinder wird durch Wasserdruck ein Kolben mit nach oben gerichteter Kolbenstange bewegt, auf deren oberem Ende die Förderschale befestigt ist, so dass sie mit dem Kolben gehoben und gesenkt wird. Das Anheben erfolgt durch Zuleitung von Druckwasser unter den Kolben, der Niedergang durch das eigene Gewicht des Kolbens nebst Förderschale, sobald dem für den Aufgang benutzten Wasser durch Oeffnen eines Hahnes oder Ventiles Auslass verschafft ist.

Aus dieser Anordnung folgt, dass der Treibcylinder des hydraulischen Gichtaufzuges ebenso viel als die Förderhöhe beträgt, unter die Hüttensohle hinabreichen muss, damit die Schale bis zur letzterer gesenkt werden kann. Damit aber der Treibcylinder nebst Röhrenleitung u. s. w. zugänglich bleibe, muss ein ausreichend tiefer Schacht angelegt werden, in welchem der Cylinder aufgestellt wird. Hierdurch wird die ganze Anlage schwerfällig und kostspielig, und dieser Uebelstand wächst mit der Höhe des Ofens. Durch Einschaltung einer Umsetzung, d. h. indem man die Kolbenstange des Treibcylinders nicht unmittelbar mit der Förderschale verbindet, sondern die letztere an einem Seile befestigt, welches über eine von der Kolbenstange getragene Rolle gelegt ist, würde sich zwar der erwähnte Nachtheil abmindern und die Hubhöhe des Treibcylinders auf die Hälfte oder noch weniger abmindern lassen; aber die Hauptvortheile der hydraulischen Aufzüge in der zuerst beschriebenen Anordnung, die unmittelbare Kraftübertragung und die fast vollständige Gefahrlosigkeit, würden hierbei verloren gehen.

Während die hydraulischen Aufzüge zum Heben von Lasten auf geringere Höhen nicht selten Benutzung finden, verringert sich den geschilderten Verhältnissen zufolge ihre Zweckmässigkeit, wenn die Förderhöhe zunimmt; und es erklärt sich hieraus leicht, dass sie, wie schon erwähnt wurde, bei dem Betriebe der Hochöfen ziemlich vollständig ausser Anwendung gekommen sind, seitdem die Höhe der letzteren erheblich über das frühere durchschnittliche Maass hinaus gesteigert wurde.

d) Pneumatische Gichtaufzüge.

Auch diese sind, wie die hydraulischen, einfach wirkend. Als Mittel zur Bewegung dient Luft, welche von einem Gebläse verdichtet oder von einer Luftpumpe verdünnt wird.

Eine im Anfange der siebziger Jahre durch Gjers eingeführte und seitdem auf verschiedenen Hochofenwerken zur Anwendung gelangte Form solcher Aufzüge ist in Fig. 159 und 160 dargestellt. *a* ist ein gusseiserner, aus mehreren genau zusammenpassenden, sorgfältig ausgebohrten Stücken zusammengesetzter Cylinder, in welchem der Kolben *b* auf und nieder beweglich ist. Durch vier über Rollen *c c* geführte Seile ist mit dem Kolben die Förderschale *d* verbunden, so dass diese steigt, wenn jener sinkt, und umgekehrt. Das Gewicht des Kolbens pflegt so bemessen zu sein, dass das Gewicht der Förderschale nebst dem Gewichte der Gichtwagen und einem Theile von dem Gewichte der Wagenladung dadurch ausgeglichen wird, und die Förderschale steigt in diesem Falle selbstthätig, so lange keine Belastung vorhanden ist und der Luft unterhalb des Kolbens Auslass gegeben ist. Bei voller Belastung der Schale bedarf es dagegen einer nur verhältnissmässig geringen Luftverdünnung unter dem Kolben, um jene zu heben; und wenn Niedergang der mit den entleerten Wagen belasteten Schale stattfinden soll, braucht die Luft unterhalb des Kolbens nur so weit verdichtet zu werden, als dem Uebergewichte des Kolbens entspricht.

Fig. 159.

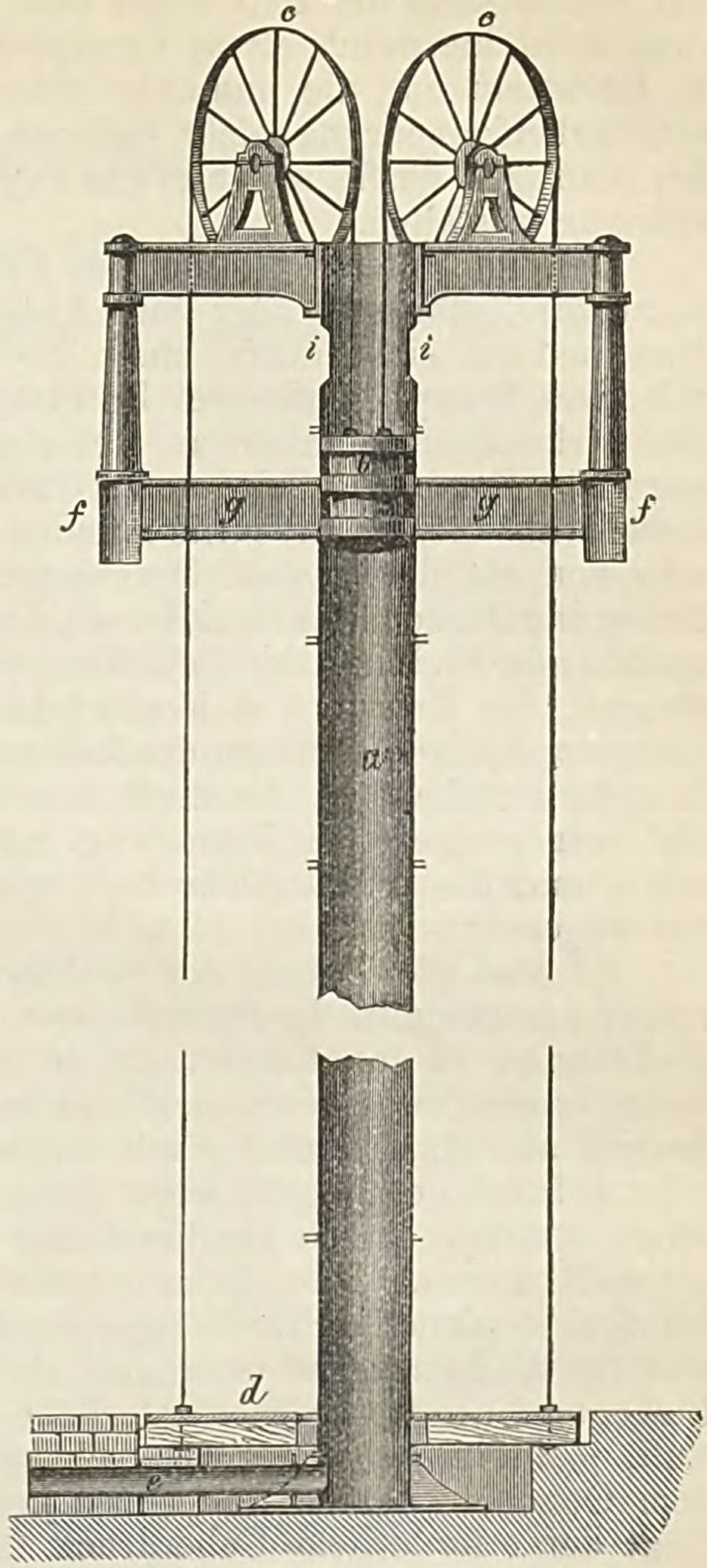
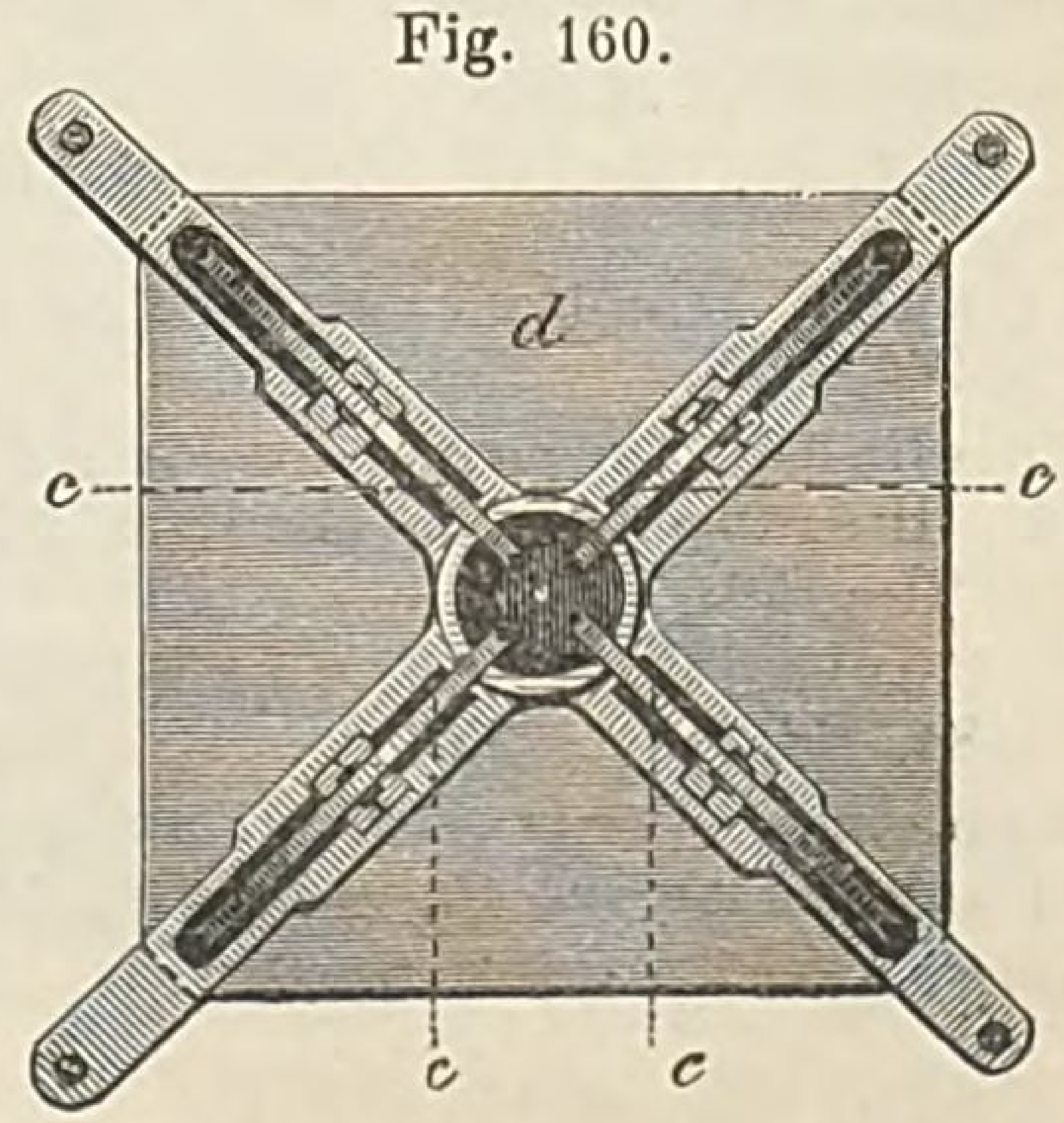


Fig. 160.



In anderen Fällen hat man die Gewichtsausgleichung derartig bemessen, dass auch die nur mit den leeren Karren beladene Schale etwas schwerer ist als der Kolben und selbstthätig sinkt, sobald sie sich selbst überlassen wird. Es ist mithin nur für den Aufgang der Schale eine Thätigkeit der Luftpumpe

zur Verdünnung der Luft unter dem Kolben erforderlich. Die Einrichtung wird hierdurch etwas vereinfacht, wenn auch selbstverständlich in Rücksicht auf die nunmehr erforderliche stärkere Luftverdünnung eine Arbeitsersparung nicht dadurch erreicht wird; der Wirkungsgrad des Aufzuges dürfte sogar etwas ungünstiger als bei der letzteren Anordnung ausfallen.

Das im unteren Theile des Cylinders angebrachte Zweigrohr *e* dient zur Zuführung oder zum Absaugen der Luft unter dem Kolben. Man bedient sich hierzu einer Zwillingsmaschine ohne Schwungrad mit zwei Dampf- und zwei Luftpumpencylindern. Letztere sind einfachwirkend und daher an der einen Seite mit Saugventil, an der gegenüberliegenden Seite mit Druckventil versehen; die Saugventile sowohl als die Druckventile münden in je ein gemeinschaftliches Saugrohr und ein dergleichen Druckrohr. Beide Rohre endigen in einem Steuerungskasten mit Schieber an dem Ende des Rohres *e*. Durch entsprechende Stellung des Schiebers setzt man, wenn die Förderschale steigen, der Kolben *b* sich abwärts bewegen soll, das Saugrohr der Luftpumpe mit dem Innern des Rohres *a*, das Druckrohr mit der äusseren Luft in Verbindung, die Luft unter dem Kolben wird verdünnt; für die entgegengesetzte Bewegung tritt das Druckrohr in Verbindung mit *a* und die erforderliche Luft wird durch das Saugrohr von aussen her angesaugt.

ff sind die Träger der Gichtbrücke, unter sich durch die Querträger *gg* versteift. In dem obersten Theile des Cylinders *a* sind einige Oeffnungen *ii* angebracht, damit man leicht zum Kolben gelangen kann, wenn dieser geschmiert werden soll. Die Liederung des Kolbens besteht aus Hanf, welcher mit Unschlitt getränkt ist.

Aufzüge der abgebildeten Art zeichnen sich, wie alle pneumatischen Aufzüge, durch sanften Gang und grosse Sicherheit gegen Unglücksfälle aus. Ihre Anlagekosten aber sind in Rücksicht auf die ziemlich kostspielige Herstellung des Treibcylinders nicht unbeträchtlich, und ihr Wirkungsgrad verringert sich um so mehr, je stärker die zur Bewegung des Kolbens erforderliche Verdichtung oder Verdünnung der Luft, je kleiner also der Querschnitt des Kolbens im Verhältnisse zu dem Gewichte der zu fördernden Last ist. In den meisten Fällen beträgt der erforderliche Ueberdruck 1/3—1/2 Atmosphäre (0,3—0,5 kg auf 1 Quadratcentimeter).

Literatur.

J. v. Hauer, Die Hüttenwesensmaschinen. 2. Auflage, Leipzig 1876, S. 260—288.

J. Weisbach, Ingenieur- und Maschinenmechanik. Bearbeitet von G. Hermann. 3. Theil, 2. Abtheilung. 2. Auflage, Braunschweig 1880, S. 97—150.

E. F. Dürre, Die Anlage und der Betrieb der Eisenhütten, Leipzig 1884, Bd. II, S. 235.

H. Wedding, Zweiter Ergänzungsband zum Handbuch der Eisenhüttenkunde, Braunschweig 1887, S. 87—184.

Amerikanische Gichtaufzüge. „Stahl und Eisen“ 1887, S. 605.

V. Das Hochofenschmelzen.

I. Die Arbeiten beim Hochofen.

a) Das Austrocknen, Anwärmen und Anblasen des Hochofens.

In den Poren und in den Fugen der Steine eines neu errichteten oder neu zugestellten Hochofens befindet sich Feuchtigkeit, welche, wenn man den Hochofen sofort nach Beendigung der Zustellung rasch erhitzen wollte, durch eine massenhafte Dampfentwickelung leicht zu einer Lockerung des Steinverbandes oder gar zum Zerspringen einzelner Steine Veranlassung geben würde. Es ist daher ein allmähliches Austrocknen und Anwärmen des Hochofens erforderlich, bevor man zu dem eigentlichen Anblasen schreiten kann.

Dass bei Hochöfen mit Massezustellung die Gefahr einer Beschädigung der letzteren durch die entweichenden Dämpfe noch grösser ist als bei Oefen mit Steinzustellung, ist leicht erklärlich, und jene Oefen erfordern daher eine ganz besonders vorsichtige Behandlung.

Man bewirkt das Austrocknen und erste Anwärmen des Hochofens, indem man davor eine einfache Rostfeuerung anlegt und die Verbrennungsgase in dem Schachte des Ofens, welcher hierbei als Esse wirkt, aufsteigen lässt. Die Anlage der Feuerung ist einfach. Ein gewöhnlicher Rost von $^1/_2$—1 qm Fläche wird von Ziegelsteinen getragen, und darüber wird eine Verbrennungskammer eingerichtet, die man in das Ofeninnere münden lässt. Als Zugang in das Ofeninnere dient bei Oefen mit offener Brust diese selbst, in welche man den Wallstein und auch den Tümpelstein noch nicht eingesetzt hat; bei Oefen mit geschlossener Brust lässt man eine Oeffnung in der Gestellwand frei, welche erst später durch eingesetzte Steine geschlossen wird.

Ist bei dem Austrocknen besondere Vorsicht erforderlich — z. B. bei den Oefen mit Massezustellung —, so legt man auch wohl die Feuerung anfänglich in einiger Entfernung von dem Ofen an und lässt die Verbrennungsgase ohne Einschaltung eines Kanales durch den Ofenschacht ansaugen, so dass sie reichlich mit Luft vermischt und nur im lauwarmen Zustande in den Ofen eintreten. Allmählich nähert man dann die Feuerung dem Ofen in dem Maasse, wie die Austrocknung fortschreitet. In jedem Falle darf beim Beginne der Arbeit die Feuerung nur schwach sein und erst nach und nach verstärkt werden, muss aber ununterbrochen Tag und Nacht hindurch unterhalten werden, damit nicht Wiederabkühlung eintrete.

Man verwendet flammende oder verkohlte Brennstoffe. Letztere entwickeln am wenigsten Wasserdampf und wirken daher am kräftigsten austrocknend. Um den gewöhnlich übermässig starken Zug abzuschwächen und die Gase mit den Wänden des Ofens in ausgedehntere Berührung zu bringen, auch zur Verhütung, dass Regen oder Schnee in den Ofen gelange, deckt man (bei offener Gicht) zweckmässigerweise die Gichtöffnung durch eiserne Platten ab, welche auf Querträgern auf-

ruhen. Die Gase werden hierdurch gezwungen, an dem Rande ihren Austritt zu nehmen. Soll der Ofen mit einem Gichtverschluss versehen werden, so wird dieser mitunter erst später angebracht, ohne dass jedoch hierfür eine bestimmte Regel maassgebend wäre. Manche Hochofenleute z. B. schliessen den Ofen durch den Langenschen, von Hoffschen oder ähnlichen Gasfang und lassen die Gase durch das am oberen Ende geöffnete Centralrohr entweichen.

Die Zeitdauer dieses Austrocknens und Anwärmens richtet sich nach der Beschaffenheit des Zustellungsmaterials, auch zum Theil nach der jedesmaligen Geschäftslage. Drängt diese nicht sehr zu einem beschleunigten Vorgehen, so setzt man, um desto sicherer zu gehen, das Anwärmen wohl einige Tage länger fort als unter anderen Verhältnissen, zumal da der Brennstoffaufwand hierfür nicht sehr beträchtlich ist. Bei Oefen mit Steinzustellung wird man mindestens 10 Tage, besser 14 Tage hierauf verwenden müssen, während bei Massezustellungen vier bis sechs Wochen dafür erforderlich zu sein pflegen. In jedem Falle muss das Anwärmen so lange fortgesetzt werden, bis die Gestell- und Raststeine auch aussen deutlich warm geworden sind.

Die Windformen setzt man erst ein, wenn das Anwärmen sein Ende erreicht hat, und die betreffenden Oeffnungen hält man inzwischen durch eingesetzte Steine verschlossen.

Ist das Austrocknen und Anwärmen beendet, so entfernt man die dafür benutzte Feuerung, reinigt den Ofenherd von Asche und schreitet zum Anblasen.

In früherer Zeit wurde diese Arbeit in recht umständlicher, zeitraubender Weise ausgeführt. Nachdem die Oeffnungen im Gestell durch eingesetzte Steine, auch die Formöffnungen durch Thon geschlossen worden waren, so dass nur noch ganz beschränkter Luftzutritt stattfinden konnte, wurden glühende Kohlen in den Herd gebracht und eine Lage frischer Kohlen (oder Koks) darauf geschüttet. Man wartete nun gewöhnlich, bis an der Oberfläche der eingeschütteten Kohlen sich brennbares Gas zeigte, und schüttete dann erst, um dem Ersticken des Ofens vorzubeugen, auf's Neue Kohlen nach. Durch theilweises Oeffnen oder vollständiges Schliessen der Oeffnungen im Gestelle regelte man den Luftzug, verzögerte aber aus übertriebener Vorsicht nicht selten absichtlich die Verbrennung möglichst lange und fuhr in dieser Weise fort, allmählich den Ofen mit Kohlen bis zur Gicht oder doch wenigstens bis nahe unterhalb der Gicht zu füllen. Auch bei kleineren Oefen währte es in Anbetracht der Pausen zwischen dem Nachfüllen frischer Kohlen und dem Erscheinen der Flamme an deren Oberfläche mindestens einige Tage, bis das Füllen vollbracht war; bei grösseren Oefen mit Koksfeuerung oft einige Wochen. Inzwischen sammelte sich aber im Herde Asche von den verbrannten Kohlen, welche von Zeit zu Zeit entfernt werden musste, um einer Verstopfung des Gestells vorzubeugen. Diese Entfernung der Asche geschah mit Hülfe eines Verfahrens, welches für die beschriebene Art und Weise des Anblasens kennzeichnend ist: des Rostschlagens. Man entfernte die Steine, mit welchen der Zugang in den Herd verschlossen war (bei den Oefen mit offener Brust war der Wallstein während des Füllens noch nicht eingesetzt und der Kanal unterhalb des Tümpelsteines durch Steine

zugesetzt), legte eine starke Eisenstange in wagerechter Lage quer vor die Oeffnung, so dass ihre Enden durch untergelegte Steine oder in anderer Weise unterstützt waren und ihre Oberkante ein wenig tiefer lag als der obere Rand der Oeffnung, und schob nun über diese Querstange hinweg eine Anzahl langer Eisenstangen in das Gestell bis zur Rückwand des Ofens. Zwischen den einzelnen Stangen liess man so viel Zwischenraum, dass die Asche und kleineren Kohlenstücke hindurchfallen konnten, die grösseren Stücke aber nicht. Die Stangen, deren aussen befindliche Enden durch Arbeiter oder durch irgend eine einfache Vorrichtung festgehalten wurden, bildeten demnach einen wagerechten Rost, unter welchem nunmehr die angesammelte Asche mit langen Krücken ausgeräumt wurde. Wegen der von den glühenden Kohlen ausgestrahlten grossen Hitze war dieses Rostschlagen eine mühselige Arbeit, musste aber doch mindestens alle 12 Stunden wiederholt werden, so dass bei grösseren Oefen nicht selten ein 50—60 maliges Rostschlagen erforderlich war.

War der Hochofen in der beschriebenen Weise mit Brennstoff gefüllt, so begann man, schwache Erzgichten zu setzen. Sehr vorsichtige Hochofenmeister liessen auch jetzt noch die Verbrennung der Kohlen lediglich durch den natürlich zutretenden Luftzug bewirken, bis die erste Schlacke sich zeigte; gewöhnlich jedoch öffnete man, nachdem die erste Erzgicht gesetzt worden war, die Formen und blies mit sehr schwacher Pressung Gebläsewind ein. In jedem Falle musste, so lange noch keine geschmolzene Schlacke sich zeigte, auch jetzt noch das Rostschlagen fortgesetzt werden, und erst, wenn flüssige Schlacke vor die Formen trat, wurde das Gestell durch Einsetzen des betreffenden Steines geschlossen. Der Erzsatz wurde allmählich gesteigert, und nach Verlauf von 4—8 Wochen, vom Beginne des Füllens an gerechnet, pflegte der Ofen in vollen Betrieb gekommen zu sein.

Noch jetzt wird bei Holzkohlenhochöfen mitunter dieses Verfahren des Anblasens befolgt. Es gewährt eine grosse Sicherheit für den späteren guten Gang des Hochofens, und seine hauptsächlichsten Nachtheile — grosser Kohlenverbrauch und lange Zeitdauer — fallen um so unbedeutender aus, je kleiner der Ofen ist.

Andrerseits aber musste die seit den vierziger Jahren zunehmende Vergrösserung der mit Koks betriebenen Hochöfen nothwendigerweise zu einer Vereinfachung jenes Verfahrens führen, welches bei ungeänderter Anwendung für die grossen Oefen der Jetztzeit sehr bedeutende Opfer an Kohlen, Arbeitslöhnen und Zeit erheischen würde. Zuerst kürzte man in England das Verfahren, indem man zu unterst Holz in den Ofen brachte, darüber Koks; mit dem Erzsatze begann man, wenn der Ofen bis zu etwa der Hälfte seiner Höhe gefüllt war, entzündete alsdann das Holz und füllte nun allmählich den Ofen, worauf der Wind eingelassen wurde.[1]) Durch Lürmann wurde das Verfahren noch weiter vervollkommnet und insbesondere das so lästige und zeitraubende Rostschlagen vollständig beseitigt. Man giebt den zum Füllen dienenden Koks einen entsprechenden Kalkzuschlag, um

1) Nach Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde (Abth. 2, Seite 734), wurde der erste Ofen in dieser Weise im Jahre 1863 durch Parry zu Ebbw Vale angeblasen.

aus der Koksasche eine ausreichend dünnflüssige Schlacke zu bilden, welche aus dem Ofen abfliesst.

Seitdem man durch die Einführung der steinernen Winderhitzer die Möglichkeit erlangt hat, den Gebläsewind weit über die Entzündungstemperatur der Koks hinaus zu erwärmen, sieht man nicht selten auch von der Anwendung von Holz ganz ab. Man füllt den unteren Theil des Ofens mit Koks und entzündet diese durch den heissen Wind. Das Verfahren ist besonders dann gut anwendbar, wenn bereits andere Hochöfen auf demselben Werke in Betrieb stehen, welche die zur Heizung des Windes erforderlichen Gase liefern.

In jedem Falle, man mag Holz anwenden oder nicht, wird zunächst der Ofen bis ungefähr zu einem Viertel oder Drittel seiner Höhe mit Koks gefüllt, welchen man so viel Kalkstein zusetzt, als zur Verschlackung ihres Aschengehaltes erforderlich ist. Auf 1 Theil Koksasche kann man 1,5 Theile Kalkstein rechnen. Nun kommen einige Koksgichten, deren Grösse derjenigen bei vollem Betriebe gleich sein kann, und auf jede Koksgicht wiederum Kalkstein, zugleich aber auch eine gewisse Menge Hochofenschlacke. Die Menge der Schlacke und des Kalksteines zusammen kann dem Gewichte der Koks annähernd gleich sein; ist die Schlacke an und für sich schon sehr kalkerdereich und der Aschengehalt der Koks nicht sehr beträchtlich, so kann auch der Kalksteinzuschlag nunmehr ganz in Wegfall kommen und Schlacke an dessen Stelle treten. Die schmelzende Schlacke nimmt vermöge ihrer ziemlich beträchtlichen spezifischen Wärme[1]) eine entsprechend grosse Wärmemenge auf, führt sie nach unten, bereitet in solcher Weise den Herd des Ofens vor und bildet für das später nachfolgende Roheisen ein an Wärme reiches Bad, welches dieses vor Abkühlung und Erstarrung schützt.

Auf die Gichten mit Schlackenzusatz folgen schwache Erzgichten, zuerst gewöhnlich 5—6 Gichten mit ungefähr einem Drittel des Erzsatzes, welcher bei vollem Betriebe gegeben wird, nebst Hochofenschlacke; dann ebensoviel Gichten mit dem halben Satze u. s. f. In dieser Weise wird der Hochofen ganz oder bis nahe zum Rande gefüllt.

Damit der Ofen nicht durch allzu dichte Lagerung der eingefüllten Materialien beim Anblasen ersticke, gebraucht man mitunter die Vorsicht, sie nicht von oben her einzustürzen, sondern man lässt sie in Körben an einem Seile von oben herunter und breitet sie dann gleichmässig aus. Die Gichtverschlüsse müssen zu diesem Zwecke entfernt werden, und ein über der Gicht aufgestellter Haspel dient zum Hinunterlassen der gefüllten Körbe.

Wenn das Füllen beendet ist, setzt man die im Gestell etwa noch fehlenden Steine ein, prüft, ob alle Theile sich in gutem Zustande befinden, leitet das Kühlwasser zu den Formen und sonstigen gekühlten Theilen und bringt durch das Stichloch Feuer in den Herd oder leitet hocherhitzten Wind zu, falls man kein Holz angewendet hatte. Bei Benutzung von Holz zur Entzündung der Koks pflegt man mit dem Zulassen des Windes zu warten, bis die erste Schlacke erscheint; in

1) Schinz fand die spezifische Wärme der Schlacke bei 1250° = 0,29, die des Roheisens nur ungefähr halb so gross (Documente, betreffend den Hochofen, Seite 33 und 34).

jedem Falle bläst man anfänglich mit sehr schwacher Pressung. Der Abstich wird vorher mit feuerfester Masse, welche fest eingestampft wird, so weit geschlossen, dass nur eine engere (durch Einlegen eines Holzmodells beim Einstampfen der Masse frei gehaltene) Oeffnung, die eigentliche Stichöffnung für das Roheisen, noch offen bleibt[1]; mitunter lässt man, um den Boden des Ofens noch besser vorzuwärmen, anfänglich die Gase durch diese Oeffnung austreten (sofern nicht die Brust des Ofens offen ist) und schliesst sie erst, wenn die Schlacke anfängt, auszufliessen.

Die Gasfänge und Gichtverschlüsse werden vor dem Anlassen des Windes an Ort und Stelle gebracht und in gehörigen Stand gesetzt; die Benutzung der Hochofengase zur Heizung der Kessel, Winderhitzer u. s. w. beginnt, sobald sie sich als brennbar erweisen.

In dem Maasse, wie die Beschaffenheit des erfolgenden Roheisens und der Schlacke es als zulässig erscheinen lassen, steigert man nunmehr die Windpressung wie den Erzsatz, und nach Verlauf von drei bis sechs Tagen pflegt der Betrieb des Ofens in völlig regelrechtem Gange sich zu befinden.

Beispiele des Anblasens verschiedener Hochöfen findet der Leser in den unter Literatur aufgeführten Abhandlungen.

b) Die Arbeiten während des gewöhnlichen Betriebes.

Diese Arbeiten erstrecken sich im Wesentlichen auf das Herbeischaffen der Schmelzmaterialien von ihren Lagerplätzen, Abmessen oder Abwägen in den erforderlichen gegenseitigen Verhältnissen, Hinaufbefördern auf die Gichtebene und Einschütten in die Gicht, sobald die Oberfläche der Beschickungssäule um das entsprechende Maass gesunken ist; ferner die Beaufsichtigung der Windformen, Reinigung von erstarrten Ansätzen, sowie die Beaufsichtigung des Schlackenabflusses und die Entfernung der erfolgenden Schlacken; endlich die Herrichtung des Giessbetts zur Aufnahme des Roheisens und das Ablassen (Abstechen) des Roheisens in bestimmten Zeiträumen.

Den Inbegriff des Erzgemisches, welches der Hochofen zur Darstellung dieser oder jener Roheisensorte erhält, heisst der Möller, die Arbeit des Mischens die Möllerung. Um die Arbeit abzukürzen und nicht gezwungen zu sein, auch bei Nacht die Erze von ihren oft entfernt liegenden Lagerplätzen herbeizuholen, hat man bei einzelnen Hochofenwerken unmittelbar hinter dem Ofen ein besonderes Möllerhaus eingerichtet, in welchem während des Tages die den Bedarf des Ofens während 24 Stunden deckende Menge von Erzen und Zuschlägen aufgespeichert wird, um von hier aus in bestimmten Einzelposten von Gicht zu Gicht nach dem Hochofen befördert zu werden. Das Verfahren der Möllerung aber ist nach der Grösse des Hochofens und nach

1) Die in dem Wallsteine oder, bei Oefen mit geschlossener Brust, in einem Gestellsteine ausgesparte Oeffnung muss beträchtlich grösser sein als die eigentliche Stichöffnung, damit man nöthigenfalls Versetzungen beseitigen kann, ohne den Stein zu beschädigen. Sobald sich bei der öfteren Benutzung die in der Masseausfüllung gelassene engere Stichöffnung allzu sehr erweitert hat, wird die Ausfüllung erneuert.

der Anzahl der Erzsorten verschieden, welche „gattirt“, d. h. in bestimmtem gegenseitigen Gewichtsverhältnisse mit einander verschmolzen werden.

Je kleiner der Hochofen und je grösser die Zahl der gattirten Erze ist, desto empfindlicher ist der erstere gegen jede zufällige Unregelmässigkeit in der Zusammensetzung der Beschickung. Deshalb pflegt bei Holzkohlenhochöfen, insbesondere bei den auf graues Roheisen betriebenen, eine ganz besondere Sorgfalt auf die Möllerung verwendet zu werden. In dem Möllerhause fährt man auf dem mit Eisenplatten abgedeckten Fussboden die einzelnen Erzsorten in flachen Schichten mit rechteckiger Grundfläche über einander auf, so dass ein regelmässiger Haufen in Form einer ganz flachen abgestumpften Pyramide von $^3/_4$—1 m Höhe entsteht. Jede Schicht eines einzelnen Erzes wird, ehe die nachfolgende darüber aufgeschüttet wird, mit Holzkrücken geebnet und gleichmässig auf der ganzen Fläche vertheilt. Sind Zuschläge erforderlich, so werden auch diese zwischen den Erzen schichtenweise aufgefahren. Von diesem Möller wird nun mit der Keilhacke und Schaufel durch senkrechte Schnitte ein Theil nach dem andern losgetrennt, gut durch einander geschaufelt, und von dieser Mischung erhält alsdann der Hochofen die erforderliche Menge für jede Gicht. Bevor der erste Möller verbraucht ist, muss an einer andern Stelle des Möllerhauses bereits ein zweiter fertig aufgefahren sein, damit nicht Mangel eintrete.

Einfacher pflegt das Verfahren bei grossen, mit Koks betriebenen Hochöfen zu sein. Hier schüttet man im Möllerhause die einzelnen Erze und Zuschläge gewöhnlich getrennt in Bretterverschlägen oder in ähnlicher Weise auf, entnimmt für das jedesmalige Aufgichten so viel von jeder Sorte, als der vorgeschriebenen Zusammensetzung des Möllers entspricht, und schüttet die Materialien, ohne sie vorher besonders zu mischen, ohne Weiteres in die Gicht, so dass erst in dem Ofen selbst die Mischung erfolgt. Häufig umgeht man auch die Anlage eines Möllerhauses ganz und befördert die Materialien von dem Stürzplatze ohne Weiteres nach dem Gichtaufzuge.

Zur Beförderung der Materialien von den Lagerplätzen nach dem Möllerhause und von hier nach dem Hochofon bedient man sich vierrädriger oder auch zweirädriger Karren (Hunde), welche auf Schienen laufen. Die Gichtwagen, welche die Schmelzmaterialien auf die Gichtebene befördern und unmittelbar in der Gichtöffnung entleert werden, müssen aus Eisenblech gefertigt sein. Um das Entleeren in kürzester Zeit bewirken zu können, pflegt man sie als Kippwagen einzurichten, deren Kasten um eine wagerechte Achse so weit drehbar ist, dass beim Aufkippen der Inhalt rasch und vollständig herausstürzt. Fig. 161 und 162 stellen zwei übliche Formen solcher Kippkarren für Eisenhochöfen dar. Bei beiden ist *a* die Achse, um welche der Kasten beim Kippen gedreht wird. Bei dem Karren Fig. 161, welcher zum Aufgichten der Erze bestimmt ist, stürzt der Inhalt, wie leicht ersichtlich ist, ohne Weiteres heraus, sobald der Kasten entsprechend weit aufgekippt ist. Bei dem Karren Fig. 162, welcher weniger für Erze als für Brennstoffe sich eignet, ist die Stirnwand zum Aufklappen eingerichtet und wird durch einen Riegel festgehalten; da ihre Drehungs-

achse oben liegt, öffnet sie sich von selbst, wenn der Riegel zurückgezogen und der Kasten aufgekippt wird.

Den Karren für Erze pflegt man einen Inhalt von 3—4 Hektolitern, denen für Brennstoffe einen Inhalt von 4—6 Hektolitern zu geben.

Die aufzugichtenden Erze, Zuschläge und Brennstoffe werden entweder gewogen oder gemessen (wobei die Gichtkarren selbst gewöhnlich als Messgefässe dienen), und man ermittelt in dem letzteren Falle von Zeit zu Zeit das Durchschnittsgewicht einer bestimmten Maasseinheit der Schmelzmaterialien, um durch eine einfache Rechnung das Gewicht der gesammten aufgegichteten Materialien zu erhalten. Letzteres Verfahren hat den Vortheil der grösseren Einfachheit, da das jedesmalige Wägen wegfällt, und man vermeidet bei der Berechnung der Betriebsergebnisse eher die Unrichtigkeiten, welche die Schwankungen in dem Wassergehalte der im Freien lagernden Schmelzmaterialien bei verschiedenen Witterungsverhältnissen leicht herbeiführen. Besonders bei Verhüttung dichter, mulmiger Brauneisenerze

Fig. 161.

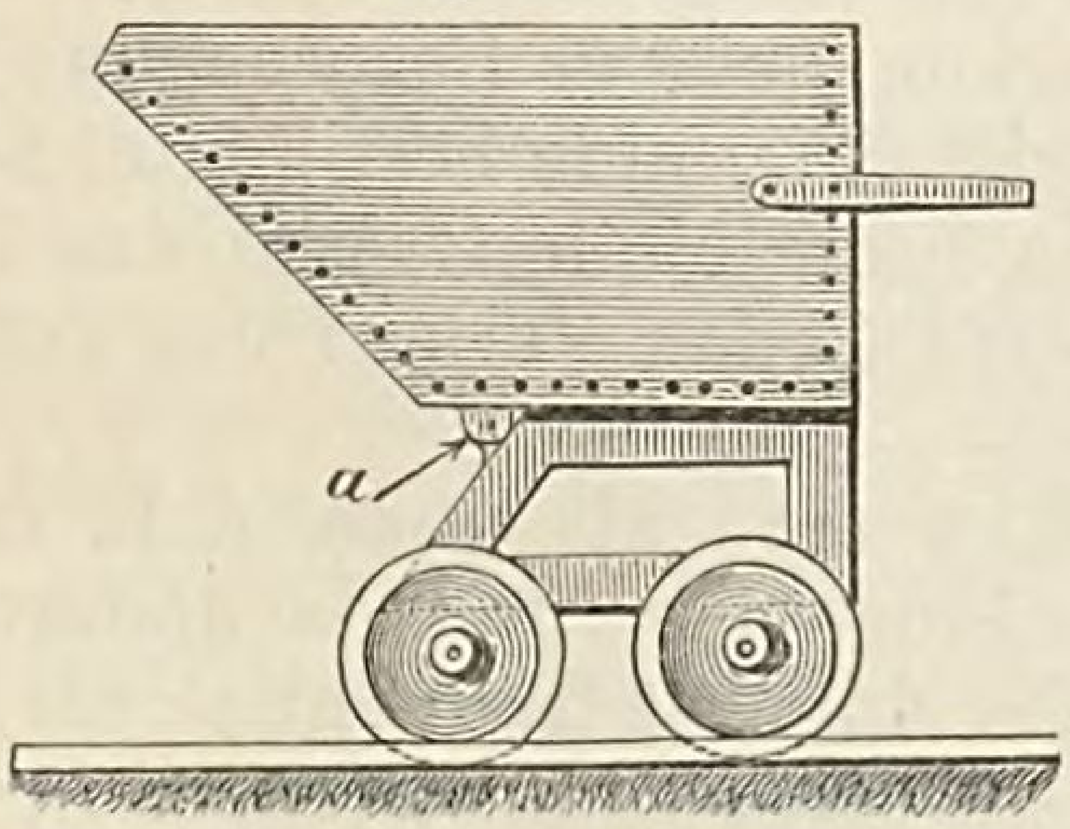
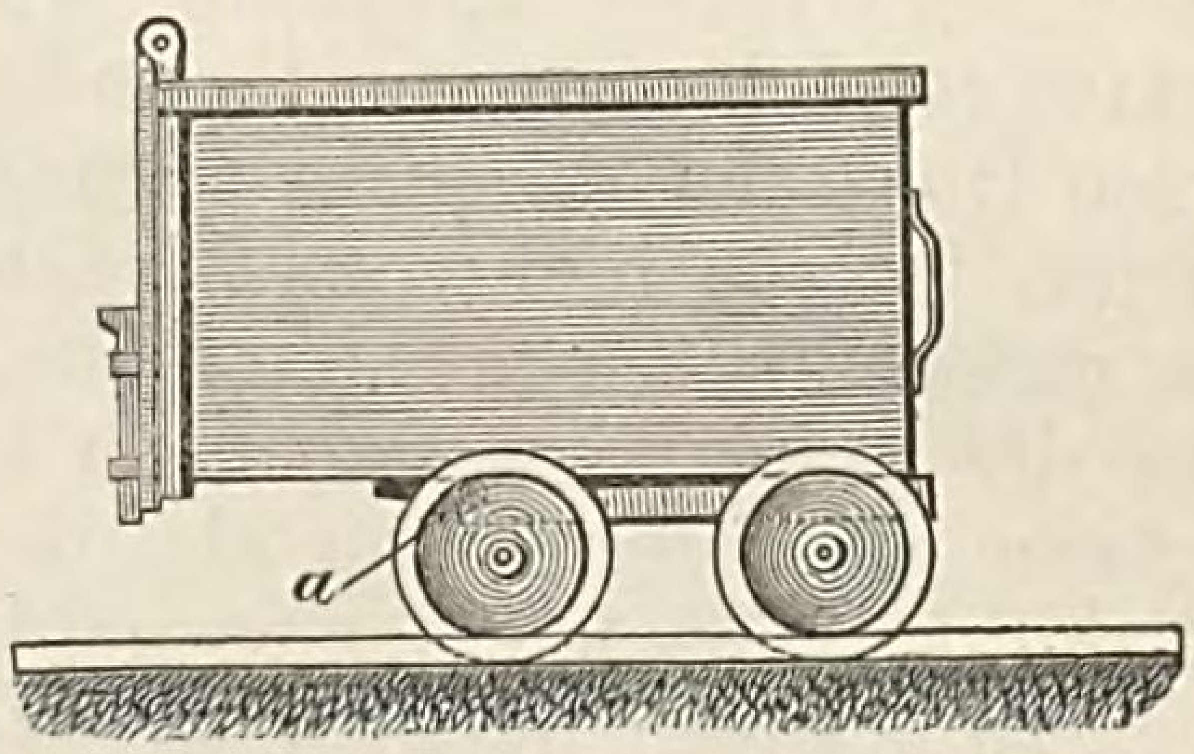


Fig. 162.



zeigen sich in dieser Beziehung oft ganz erhebliche Abweichungen bei Regen und bei trockenem Wetter. Anderntheils lässt sich nicht leugnen, dass das spezifische Gewicht der Brennstoffe, insbesondere der Holzkohlen und Koks, auch wenn sie derselben Bezugsquelle entstammen, doch häufig Schwankungen unterliegt, man also auch beim Messen nicht ganz sicher vor Abweichungen ist.

Da aber der Gang des Ofens auch bei sorgfältigster Beachtung aller maassgebenden Verhältnisse nicht vollständig frei von Schwankungen bleibt, lässt sich während des Betriebes nicht ein stets unverändertes Verhältniss zwischen Brennstoff und Erzsatz beibehalten, sondern dem wechselnden Ofengange gemäss muss dieses Verhältniss geregelt werden. Eine Aenderung würde ebensowohl durch Vergrösserung oder Verkleinerung der Brennstoffgichten als der Erzgichten zu erreichen sein; die Regel ist aber, die Brennstoffgichten unverändert zu lassen und die Grösse der Erzgichten bei wechselndem Hochofengange zu verändern. Der Grund hierfür ist, dass die Erze bei ihrem bedeutend grösseren spezifischen Gewichte und ihrer geringeren Stückgrösse im Hochofen weniger Raum einnehmen als die Brennstoffe, obgleich ihr Gesammtgewicht doppelt bis dreifach so gross zu sein pflegt als das der letzteren; in der Vertheilung der Materialien und in ihrem Niedergange im Ofen würden deshalb grössere Veränderungen ein-

treten, wenn man die Grösse der Brennstoffgichten ändern wollte, als im andern Falle.

Die Grösse des jedesmaligen Brennstoffsatzes für eine Gicht aber muss hauptsächlich von der Grösse des Hochofens abhängig sein. Es kommt hierbei in Betracht, dass, je grösser die einzelnen Gichten sind, desto tiefer die Beschickungsoberfläche sinken muss, bevor frisch aufgegichtet werden kann, und dass mithin die durch das Einschütten kalter Materialien in den Ofen hervorgebrachte Abkühlung bei grösseren Gichtsätzen nicht allein stärker ist als bei kleineren, sondern auch sich bis zu einer grösseren Tiefe im Ofen erstreckt. Wenn von diesem Gesichtspunkte aus kleinere Gichtsätze vortheilhafter sind als grosse, giebt es doch auch in dieser Beziehung eine Grenze des Zweckmässigen. Mit abnehmender Grösse der einzelnen Gichten wird natürlich ihre Zahl grösser; es wächst hierdurch auch die erforderliche Arbeit, und bei Oefen mit geschlossener Gicht, wo beim jedesmaligen Aufgichten ein Oeffnen des Gichtverschlusses stattfinden muss, ist hiermit zugleich ein Gasverlust verknüpft. Bei den Oefen mit selbstthätiger Aufgichtung (Parryscher, von Hoffscher, Langenscher Gasfang) ist aber die Vertheilung der Schmelzmaterialien beim Aufgichten von der Grösse der einzelnen Gichten abhängig, wie schon bei der Besprechung jener Vorrichtungen erläutert wurde, und es giebt hier eine bestimmte, bei den einzelnen Hochöfen durch Erfahrung zu ermittelnde Grösse des Brennstoffsatzes, welche nicht ohne Nachtheil für den Verlauf des Schmelzganges unterschritten werden kann.

Da die Holzkohlen spezifisch leichter sind als Koks, d. h. in dem Ofen einen grösseren Raum als diese einnehmen, und da anderntheils die Holzkohlenhochöfen einen erheblich geringeren Rauminhalt als Kokshochöfen zu besitzen pflegen, ist auch die Grösse der Brennstoffgichten dem Gewichte nach bei ersteren durchweg kleiner als bei letzteren. Die kleinsten Holzkohlenöfen erhalten Brennstoffgichten von nur 50 kg, bei den meisten beträgt das Gewicht 100 — 150 kg, selten geht es über 200 kg hinaus. Die Brennstoffgichten der Koksöfen dagegen sind selten kleiner als 2000 kg; häufiger beträgt ihr Gewicht 3000—4000 kg, mitunter noch etwas mehr. Nicht selten ist es vorgekommen, dass der Betrieb günstiger wurde, wenn man grössere Gichten als zuvor setzte.

Als Richtschnur für die Zusammensetzung des Möllers oder, falls nicht besonders gemöllert wird, der einzelnen Erzgichten dient eine im Möllerhause oder sonst an geeigneter Stelle aufgehängte Tafel, auf welcher von dem Betriebsbeamten des Hochofens die einzelnen zu möllernden Erzsorten ihrer Menge nach vorgeschrieben werden.

Die Entfernung der Schlacke aus dem Hochofen ist ziemlich einfach, wenn sie dünnflüssig genug ist, um von selbst abzufliessen, was bei allen mit heissem Winde betriebenen Kokshochöfen und auch bei den auf Weisseisen arbeitenden Holzkohlenhochöfen der Fall zu sein pflegt. An die Schlackenform oder an die Schlackenspur bei Oefen mit offener Brust wird eine mit Masse ausgekleidete Rinne angeschlossen, welche die Schlacke einem Sammelorte zuführt. Die Aufgabe des Schmelzers ist es dann nur, dafür zu sorgen, dass die Austrittsöffnung für die Schlacke aus dem Ofen nicht verstopft werde.

Die Art und Weise des Ansammelns der flüssigen und Fortschaffens der erstarrten Schlacke richtet sich nach ihrer beabsichtigten Verwendung, von welcher im sechsten Abschnitte die Rede sein wird. In den meisten Fällen lässt man die Schlacke unmittelbar aus der höher liegenden Schlackenrinne in gusseiserne Wagen laufen, in denen sie erstarrt und an einen entfernt liegenden Stürzplatz gefahren wird. Diese Wagen, welche auf Schienen laufen, sind vierrädrig; auf den Achsen ruht eine starke Gusseisenplatte, welche den Boden des zur Aufnahme der Schlacke bestimmten Eisenkastens bildet. Der Kasten ist mitunter aus vier unter einander und mit dem Boden verdübelten Platten zusammengesetzt, so dass er sich auseinander nehmen lässt; oder er hat die Form eines abgestumpften Kegels, so dass man ihn, wenn an dem Stürzplatze ein Krahn vorhanden ist, ohne ihn auseinander zu nehmen, von dem erstarrten Schlackenkörper abheben kann, um diesen alsdann zu beseitigen. Häufig ist der Boden zum Aufkippen eingerichtet, und der Krahn, welcher den Kasten abhebt, wirft zugleich, indem er den Boden kippt, die Schlacke hinunter.[1]) Man findet auf verschiedenen Werken zahlreiche Abweichungen in der Einrichtung dieser Schlackenwagen; oft sind örtliche Verhältnisse für die Einrichtung maassgebend gewesen.

Die Aufgabe, die Schlacke über den obern Rand des Kastens hinweg einfliessen zu lassen, lässt sich in den meisten Fällen ohne Schwierigkeit lösen; man legt, wie früher erwähnt wurde, von vorn herein den Bodenstein des Ofens so hoch über die Ebene der Hüttensohle, dass sowohl hierfür als für das Ablassen des Roheisens der nöthige Fall gewahrt bleibt.

Bei Holzkohlenhochöfen, welche graues Roheisen für die Giesserei liefern, pflegt die Schlacke nicht so dünnflüssig zu sein, dass ein regelmässiges Abfliessen möglich wäre, und man pflegt auch aus diesem Grunde, wie früher erörtert wurde, diese Oefen nicht mit geschlossener, sondern mit offener Brust zu versehen. Die Oberfläche der zwischen Tümpel und Wallstein stehenden Schlacke wird mit einer Schicht Holzkohlenlösche bedeckt gehalten, um sie vor allzu rascher Abkühlung zu schützen; von Zeit zu Zeit, wenn die Oberfläche der Schlacke im Ofen steigt, hebt man mit einer Eisenstange die vor dem Tümpel befindliche halberstarrte Schlackendecke empor, zieht sie mit einer eisernen Krücke über die Oberkante des Wallsteines hinweg, fährt, wenn nöthig, mit einem langen eisernen Haken unter dem Tümpel hinweg bis in das Gestell des Ofens, um erstarrte Schlackenansätze loszubrechen und der Schlacke den Weg nach vorn hin frei zu machen, und schüttet dann frische Lösche auf.

Wenn das Roheisen im Herde des Ofens sich soweit angesammelt hat, dass nur noch eine niedrige Schlackendecke darauf schwimmt, wird „abgestochen". Im Verlaufe von 24 Stunden pflegt dieses Abstechen zwei- bis fünfmal erforderlich zu sein, abweichend nach dem Fassungsraume des Herdes und der Leistungsfähigkeit des Ofens.

In den Pausen zwischen den einzelnen Abstichen wird das Giessbett zur Aufnahme des flüssigen Roheisens vorgerichtet. Zur Erzielung

1) Abbildung eines solchen Wagens: „Stahl und Eisen" 1889, Seite 685.

des nöthigen Falls von dem Stichloche des Ofens nach dem Giessbette hin muss das letztere tiefer als ersteres liegen, doch aber in nicht allzu grosser Entfernung davon (gewöhnlich etwa 4—8 m) angeordnet sein. Es besteht aus einer Lage mässig feinkörnigen, für Gase durchlässigen Sandes, wie er auch in Eisengiessereien für Herstellung sogenannten Herdgusses benutzt wird; in diesem stellt man mit Hilfe eines Modells die Gussformen her, in welchen das flüssige Roheisen erstarren soll. Die Gussformen sind oben offen und haben demnach die Form flacher oder halbcylindrischer Rinnen, entsprechend der Form, welche man den Roheisengänzen (Masseln) zu geben beabsichtigt; damit aber das Anfüllen mit dem aus dem Stichloche des Hochofens kommenden Roheisen in regelrechter Weise verlaufe, müssen sie in geeigneter Weise neben und hinter einander angeordnet sein.

Zu diesem Zwecke führt man jene Rinne oder Gosse, welche das Roheisen zunächst aufnimmt, von dem Stichloche aus an dem Rande des Giessbetts entlang; von hier aus werden quer über das Giessbett hinüber eine Anzahl paralleler Rinnen in Abständen von etwa 2 m von einander abgezweigt, und an jede schliessen sich nun, wie die Zinken eines Kammes an dessen Quersteg, die dicht neben einander liegenden eigentlichen Ganzformen von etwa 1,5 m Länge. Mit Hülfe sogenannter Abstichschaufeln, spatenartig ausgeschmiedeter Eisenstäbe, welche mit Lehm überzogen sind und quer in die Rinnen gesteckt werden, um sie abzusperren, regelt man die Vertheilung des Roheisens. Zunächst lässt man es in die erste Reihe der Gänze eintreten, indem man den Hauptkanal unmittelbar hinter der ersten Abzweigung absperrt; dann in die zweite Reihe, u. s. f.

Statt der Sandformen wendet man bei Darstellung gewöhnlichen Weisseisens nicht selten gusseiserne Formen an, welche, nachdem sie entleert wurden, nur wieder an der betreffenden Stelle und in der richtigen Reihenfolge in das Sandbett eingegraben zu werden brauchen, um auf's Neue zur Aufnahme des Roheisens bereit zu sein. Man spart dadurch die Arbeit des Einformens der Gänze, und, was gerade für die Verwendung des Weisseisens nicht ohne Belang ist, die Masseln bleiben frei von Sand, der an den im Sande gegossenen Masseln in oft nicht unerheblicher Menge haften bleibt. Durch das häufig wiederholte Erhitzen und Abkühlen aber pflegen diese Gusseisenformen einer öfteren Auswechselung zu bedürfen, und eine eigentliche Ersparung kann deshalb mit ihrer Anwendung kaum verknüpft sein. Für graues Roheisen und Spiegeleisen dagegen sind solche gusseiserne Formen überhaupt nicht gut anwendbar. Durch die raschere Abkühlung werden Einflüsse auf das Gefüge des Eisens ausgeübt, welche zwar dessen wirklichen Werth nicht beeinträchtigen, wohl aber im Handel, wo das Bruchaussehen immer noch den ersten Maassstab für die Beurtheilung des Roheisens zu bilden pflegt, leicht zu einer ungünstigen Meinung über die Beschaffenheit des Roheisens verleiten könnten. Graues Roheisen wird feinkörniger, graphitärmer, Spiegeleisen feinspiegeliger, unter Umständen strahlig.

Auf vielen englischen und auch auf mehreren deutschen Hochofenwerken hat man das Giessbett vollständig im Freien angeordnet; bei anderen Anlagen, insbesondere bei den meisten deutschen Werken,

findet man vor dem Hochofen eine überdachte Giesshalle, welche den darin beschäftigten Arbeitern Schutz vor Regen und Schnee gewährt, auch das Giessbett selbst und die darin hergestellten Gussformen vor Zerstörung und allzu starker Durchweichung bei plötzlichen Regengüssen bewahrt.

Wenn Alles zu dem Abstiche bereit ist, wird bei den Oefen mit offener Brust das Gebläse abgestellt, weil sonst eine mächtige Flamme unter dem Tümpel hervorbrechen und den Aufenthalt davor unmöglich machen würde, sobald die Oberfläche der geschmolzenen Massen im Herde zu sinken beginnt; bei Oefen mit geschlossener Brust pflegt man auch während des Abstechens zu blasen und selbst noch mit dem Blasen einige Zeit fortzufahren, nachdem das Roheisen ausgeflossen ist, um hierdurch den Herd möglichst zu reinigen. Erst dann wird das Gebläse abgestellt, nachdem die Sicherheitsklappen in den Düsenständern, welche das Zurücktreten der Gase verhindern sollen, geschlossen worden sind, das Stichloch wird von etwa gebildeten Ansätzen gereinigt und mit einem Pfropfen aus feuerfester Masse oder Thon und Sand wieder geschlossen. Dann beginnt das Blasen auf's Neue. Die Schlackenöffnung (Schlackenform) bei den Oefen mit geschlossener Brust wird nun so lange mit Thon verschlossen gehalten, bis die Schlacke auf's Neue zu den Formen emporgestiegen ist.

Bei den Oefen mit geschlossener Brust pflegt man, nachdem der Herd entleert worden ist, den Wind für kurze Zeit zuzulassen, um so viel als thunlich eine Reinigung von Lösche und dergleichen zu bewirken, dann stellt man auf's Neue das Gebläse ab und reinigt nun mit langen eisernen Stangen (Rengeln) und Haken (Schaffhaken), welche unter dem Tümpel hindurch eingeschoben werden, den Herd von allen Ansätzen („Ausarbeiten“ des Herdes), füllt den vor dem Tümpel befindlichen Theil des Herdes mit Kohlenlösche oder Thon, legt bei Oefen mit stärkerer Windpressung eine Gusseisenplatte darauf, um das Austreten der Gase unter dem Tümpel hervor unmöglich zu machen, und lässt nun erst das Gebläse wieder an. Der Nachtheile für den Schmelzgang und die Leistungsfähigkeit des Hochofens, welche dieser erforderliche längere Stillstand des Gebläses bei den Oefen mit offener Brust nach sich zieht, wurde schon oben bei Besprechung der Lürmannschen Schlackenform gedacht.

c) Arbeiten im Ofeninnern; Beseitigung von Gichtschwamm und Versetzungen.

Der Fall, dass im Innern des Ofens Arbeiten ausgeführt werden müssen, ist nicht gerade selten. Bei den Oefen mit Blechmantel oder mit Rauhgemäuer kommt es vor, dass Schachtsteine ausgewechselt werden müssen, an welche man wegen der Umhüllung des Schachtes von aussen nicht gelangen kann; bei den Hochöfen, welche zinkische Erze verhütten, bildet sich in einiger Entfernung unterhalb der Gicht jener schon auf Seite 309 erwähnte, grösstentheils aus Zinkoxyd bestehende Gichtschwamm, welcher von Zeit zu Zeit entfernt werden muss, um nicht ernstliche Betriebsstörungen zu verursachen. Zur Vornahme solcher Arbeiten giebt man einige schwächere Erzgichten als

gewöhnlich, zuletzt zweckmässigerweise einige Schlackengichten und lässt dann die Beschickung, ohne weiter aufzugichten, bis zu der erforderlichen Tiefe niedergehen. Nun wird das Gebläse abgestellt, die Formen und sonstigen Oeffnungen durch Thonpfropfen geschlossen und auf die Beschickungsoberfläche eine Decke fein gepochter Hochofenschlacke geschüttet, um das Aufsteigen der kohlenoxydreichen Gase möglichst zu hindern. Beansprucht die erforderliche Arbeit längere Zeit, so ist es empfehlenswerth, durch eine oder mehrere auf der Gicht aufgestellte Saugmaschinen die Gase aus dem Schachte unmittelbar über der Beschickungsoberfläche abzusaugen. Auch ein öfterer Wechsel der im Schachte beschäftigten Arbeiter ist nothwendig, um sie vor der längeren Einwirkung der Ofengase zu schützen. Auf diese Weise hat man selbst einen grossen Theil der gesammten Schachtmauerung eines Hochofens erneuert, ohne ihn auszublasen.[1])

Besondere Schwierigkeiten bietet die Beseitigung von Versetzungen im Hochofen, die aus verschiedenen Veranlassungen entstehen können. Sehr strengflüssige Beschickungen, insbesondere sehr kalkerdereiche, geben ziemlich leicht die Veranlassung zur Entstehung solcher Versetzungen, wenn durch einen Zufall die Temperatur im Schmelzraume abnahm, wenn durch Unregelmässigkeiten beim Aufgichten oder beim Niedergehen der Gichten die schlackenbildenden Bestandtheile in unrichtiger Mischung in den Schmelzraum gelangten, und dergleichen[2]); bei Anthrazithochöfen ist es die Neigung der Anthrazite, zu zerspringen und in Staub zu zerfallen, neben ihrer Schwerverbrennlichkeit, welche nicht selten eine Verstopfung des Ofens oberhalb der Formen durch einen aus Anthrazitstaub und halbgeschmolzener Schlacke gebildeten Klumpen herbeiführt.

So lange in diesen Fällen die Versetzung noch nicht ein solches Maass erreicht hat, dass der Wind nicht mehr durchdringen kann, wird man Alles daran setzen, die starren Massen durch Steigerung der Temperatur über den Formen zum Schmelzen zu bringen. Eine starke Verringerung des Erzsatzes, unter Umständen das Aufgeben mehrerer leerer Gichten (Brennstoffgichten ohne Erze), ist in jedem Falle am Platze, vermag aber allein nicht immer die Versetzung zu beseitigen, da, bevor die Gichten an der Stelle der letzteren anlangen, der Ofen schon vollständig zugesetzt und erstickt sein kann. Man wird also häufig darnach trachten müssen, Brennmaterial von unten her in den Ofen zu bringen und durch möglichst stark erhitzten Gebläsewind zu verbrennen. Zur Erreichung dieses Ziels ist man mitunter gezwungen, den Ofen an einer geeigneten Stelle aufzubrechen, eine Arbeit, welche natürlich sehr beschwerlich ist und grosse Umsicht erheischt. Befindet sich die Versetzung in grösserem Abstande über den Formen, so wird man mitunter genöthigt sein, eine oder mehrere besondere Formen in der betreffenden Höhe einzulegen, um die Stelle der grössten Wärmeentwicklung jener Versetzung zu nähern. Auch das Einlegen einer Form oberhalb der Versetzung, um hier Verbrennung und grössere

1) Vergleiche z. B. die unter Literatur aufgeführte Abhandlung von Burgers.

2) Versetzungen, durch Anhäufung ungeschmolzenen Kalkes entstanden, pflegt man das Kalkelend zu benennen.

Wärmeentwickelung hervorzurufen, ist mitunter von gutem Erfolge begleitet gewesen.

Als sehr erfolgreich hat sich die Einführung von Petroleum mit dem Gebläsewinde in den Ofen erwiesen. Oberhalb der Düsenebene wird ein einfacher Behälter für das einzuführende Petroleum in solcher Höhe angebracht, dass der Druck der Flüssigkeit den Winddruck überwindet; ein Eisenrohr mit Hahn führt das Petroleum in das Düsenrohr, wo es verflüchtigt und weitergeführt wird. Die Temperatur im Ofen pflegt dann rasch zu steigen, und manche ernstliche Versetzungen sind durch dieses Mittel schon beseitigt worden.

So lange in solchen Fällen die Gase noch Durchgang finden, verringert sich, wenn man schwächere Gichten aufgegeben hat, von Stunde zu Stunde die Gefahr eines völligen Einfrierens; ist aber der Ofen bereits vollständig verstopft, so kann nur ein rasches und thatkräftiges Einschreiten noch Erfolg haben. Ein Aufbrechen des Ofens ist unerlässlich, um die erstarrten Massen (die Sau) zu beseitigen, sei es durch Einbringen von Kohlen, sei es durch Losbrechen mit eisernen Stangen.

Recht kräftige Mittel sind auf amerikanischen Eisenwerken mitunter zur Anwendung gebracht worden, um die Versetzungen zu zerstören. In mehreren derartigen Fällen hat man mit Anwendung von Pulver oder Dynamit, welcher, in Holzkästen verpackt, unter die Sau gebracht wurde, deren Sprengung erzielt; in einem anderen Falle wurde durch Kanonenschüsse aus einem aufrecht gerichteten Geschütze die Zertrümmerung bewirkt.[1])

d) Das Dämpfen und Ausblasen der Hochöfen.

Besondere Verhältnisse können es erforderlich machen, dass der Gang des Hochofens auf einige Zeit — Tage oder auch Wochen — zum Stillstand gebracht wird, ohne dass ein eigentliches Ausblasen stattfindet, welches immerhin die Erneuerung der Ofenstellung und ein kostspieliges Wiederanblasen erforderlich macht. Dieser Fall kann z. B. eintreten, wenn durch äussere Vorkommnisse — Krieg, Unwetter oder dergleichen — die Zufuhr der Materialien auf einige Zeit abgeschnitten ist; wenn Arbeitsausstände stattfinden, und dergleichen mehr. Man schreitet dann zum Dämpfen des Hochofens. Hat man die ausreichende Zeit, so giebt man einige leere Gichten, welche bei aschenreichen Brennstoffen nur mit so viel Kalkstein beschickt werden, als zur Verschlackung der Asche nothwendig ist, entfernt alles flüssige Roheisen nebst Schlacken aus dem Hochofen, stellt das Gebläse ab, schliesst sämmtliche Oeffnungen möglichst luftdicht durch Verstreichen mit Masse oder Thon und füllt nur von Zeit zu Zeit, wenn die Oberfläche der Beschickung gesunken ist, frische Kohlen nach. Auf diese Weise lässt sich ein Ofen Wochen hindurch dämpfen und dann in verhältnissmässig kurzer Zeit wieder in regelrechten Betrieb setzen. Nach dem Wiederbeginne des Betriebes wird anfänglich schwach geblasen,

1) Vergleiche die unter Literatur aufgeführten Berichte in den Transactions of the American Institute of Mining Engineers.

um nicht grössere Mengen unreducirter Erze in den Schmelzraum zu führen, bis der Ofen seine erforderliche Temperatur wieder erlangt hat. Im Jahre 1889 mussten in Rheinland-Westfalen wegen des Ausstandes der Kohlenbergleute verschiedene Hochöfen auf diese Weise gedämpft werden und blieben zum Theil drei Wochen ausser Betrieb.[1])

Soll wegen allzu ausgedehnter Beschädigungen der Ofenzustellung, welche eine fortgesetzte Benachtheiligung des Ofenganges zur Folge haben, der Ofen neu zugestellt werden, oder soll aus irgend einem andern Grunde der Hochofenbetrieb eingestellt werden, so erfolgt das Ausblasen des Hochofens.

An und für sich ist diese Arbeit sehr einfach. Man hört mit Aufgichten auf, bläst so lange, bis vor den Formen keine schmelzenden Massen mehr erscheinen, bricht dann den Ofen unten auf (durch Entfernung des Wallsteines oder bei geschlossener Brust eines Gestellsteines), räumt mit langen Eisenkrücken die noch im Innern befindlichen glühenden, halbgeschmolzenen Massen aus und lässt ihn erkalten.

Bei einem derartigen Niederblasen aber entwickelt sich aus der Gicht des Ofens eine immer länger und heisser werdende Flamme, da die aufsteigenden Gase nicht mehr von frisch aufgeschütteten Materialien abgekühlt werden und die Widerstände, welche der Wind im Ofen findet, sich immer mehr verringern. Die Gichtverschlüsse müssen, um vor Zerstörung durch die Flamme bewahrt zu bleiben, abgenommen werden, und in Gegenden, wo das Ausblasen noch in dieser Weise bewirkt wird, ist es üblich, zuvor in der ganzen Umgebung Kunde davon zu geben, damit nicht bei Nacht durch den weithin leuchtenden Feuerschein Feueralarm entstehe.

Durch ein einfaches, seit Ende der sechziger Jahre ziemlich allgemein angewendetes Mittel ist man jedoch im Stande, der Entwickelung dieser Flamme vorzubeugen und dadurch auch den Ofenschacht gegen ihre zerstörenden Einwirkungen zu schützen. Sobald die Flamme anfängt, grösser zu werden, schüttet man Kalkstein nach und wiederholt dieses Nachschütten so oft, als es erforderlich erscheint, bis das Ausblasen beendet ist. Der untere Raum des Ofens füllt sich hierdurch mit gebranntem, unschmelzbarem Kalk, welcher später ausgeräumt wird und zur Mörteldarstellung benutzt werden kann.

2. Der chemische und physikalische Verlauf des Hochofenschmelzens.

a) Die allgemeinen Vorgänge im Hochofen.

Schon auf Seite 351 war eine kurze Darstellung des Verlaufs des Hochofenschmelzens zur Begründung der inneren Form des Hochofens gegeben. Aus dem Gesagten geht hervor, dass die Entstehung des Roheisens aus den Erzen im Wesentlichen auf drei sich an einander reihenden Vorgängen beruht: Reduction, Kohlung und Schmelzung. Ehe aber die Reduction beginnen kann, muss das fast immer im kalten Zustande aufgeschüttete Erz auf die Reductionstemperatur erwärmt

1) Näheres hierüber: „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 991.

werden; von der ganzen Höhe des Ofens kommt also ein gewisser Theil von der Gicht abwärts für diese Vorwärmung in Benutzung.

Der besseren Uebersichtlichkeit halber hat man sich wohl den Hochofen in einzelne Zonen getheilt gedacht, die man Vorwärmzone, Reductionszone und Schmelzzone benannte. Die Vorwärmzone nimmt den Raum unmittelbar an der Gicht ein, die Reductionszone erstreckt sich etwa bis zum unteren Theile der Rast, und unten schliesst sich die Schmelzzone an.[1])

Eine derartige Eintheilung darf jedoch, wenn sie nicht irrthümliche Anschauungen hervorrufen soll, nur mit Vorbehalt benutzt werden.

Einestheils sinken die in die Gicht eingeschütteten Schichten niemals in gleichmässig wagerechter Anordnung abwärts. An den Wänden entsteht Reibung und infolge davon ist die Bewegung hier langsamer als in der Mitte. Aus den ursprünglich flachen Schichten werden auf diese Weise Trichter; die dichteren und weniger rauhen Bestandtheile der Beschickung aber, also die Erze und Zuschläge, stürzen naturgemäss der tiefsten Stelle des Trichters zu und gelangen auf diese Weise früher nach unten als die gleichzeitig aufgeschütteten Brennstoffe.

Schon bei Besprechung der Gichtgasfänge wurden die Nachtheile einer solcher Entmischung, d. h. einer Anhäufung der Erze nach der Achse des Ofens hin, der Kohlen an den Wänden, erwähnt und zugleich darauf hingedeutet, wie man im Stande sei, durch ein geeignetes Verfahren des Aufgichtens jener Entmischung entgegen zu wirken; die Trichterbildung aber bleibt immerhin durch die Art des Aufgichtens unbeeinflusst. Hieraus folgt, dass man jene Zonen sich wenigstens nicht durch wagerechte Ebenen begrenzt vorstellen darf; je weiter nach unten, desto stärker sind die in der Mitte befindlichen Theile den übrigen vorangeeilt.

Es kommt hinzu, dass die Gase, diese Träger der Wärme und Vermittler der Reduction, ebenfalls nicht gleichmässig innerhalb der Ofenquerschnitte vertheilt sind, sondern vorzugsweise da aufsteigen, wo sich ihnen die geringsten Widerstände entgegensetzen. Meistens ist dieses an den Wänden des Ofens der Fall, wie auch schon früher mehrfach hervorgehoben wurde.

Den Vorgang der Reduction und Kohlung des Eisens darf man sich aber nun keineswegs so vorstellen, dass ein Stück Eisenerz erst vollständig zu metallischem Eisen reducirt werde, bevor die Kohlung beginnen könne. Beide Vorgänge gehen Hand in Hand und schreiten von der Aussenfläche des Erzes nach Innen fort. Aeusserlich kann schon kohlenstoffhaltiges Eisen vorhanden sein, während der Kern noch aus Eisenoxyd besteht. Der Vorgang der Reduction aber setzt sich regelmässig oder doch in den allermeisten Fällen, auch nachdem bereits Schmelzung eingetreten ist, unter Einwirkung der weissglühenden Kohlen auf die Schlacke fort; oder mit anderen Worten: ein, wenn

1) Die Benennungen wurden zuerst von Scheerer in seinem Lehrbuche der Metallurgie (1853) angewendet und sogar durch eine Abbildung des durch wagerechte Ebenen in Zonen getheilten Ofens veranschaulicht. Zwischen Reductions- und Schmelzzone schaltete Scheerer noch eine Kohlungszone ein; insofern diese Eintheilung auf der Annahme beruht, dass die Kohlung erst beginnt, wenn die Reduction beendet sei, ist sie irrthümlich, wie sogleich erläutert werden soll.

auch bei regelmässigem Betriebe verhältnissmässig kleiner Theil des Eisens wird unreducirt verschlackt und aus der Schlacke erst im unteren Theile des Hochofens durch Kohlenstoff reducirt.

Unmittelbar nach dem Aufschütten der Schmelzmaterialien in die Gicht des Hochofens beginnt die Verdampfung der von ihnen mitgebrachten Feuchtigkeit. Aber auch gebundenes Wasser (Hydratwasser), an welchem vornehmlich die Brauneisenerze reich sind, wird mehr oder minder rasch ausgetrieben. Einige Brauneisenerze zerfallen schon bei einer Temperatur, welche wenig über 100° C. hinausgeht, andere werden erst bei 400—500° C. vollständig zersetzt. Bei Versuchen, von Ebelmen mit Bohnerzen angestellt, welche im Hochofen der Einwirkung der warmen Gase ausgesetzt wurden, ergab sich, dass der Wassergehalt der Erze in einer Tiefe von 2,5 m unterhalb der Gicht und in einer Temperatur unter Rothgluth sich während zweier Stunden auf etwa ein Drittel der ursprünglichen Menge verringert hatte, in einer Tiefe von 4,3 m dagegen in dunkler Rothgluth — also bei einer Temperatur von ungefähr 500° C. — nach Verlauf von 4½ Stunden annähernd vollständig ausgetrieben war.[1]) Für diese Wasserverdampfung wird Wärme verbraucht, und die Folge hiervon ist eine Erniedrigung der Temperatur in der Gicht. Es erklären sich hieraus leicht die bedeutenden Schwankungen dieser Temperatur vor und nach dem Aufgichten, welche sich bei manchen Hochöfen beobachten lassen und mitunter mehr als 100 Grad betragen. Auch die durchschnittliche Gichttemperatur ist unter übrigens gleichen Verhältnissen niedriger, wenn wasserreiche als wenn trockene Erze verhüttet werden. Noch andere Verhältnisse sind freilich für die Höhe der Gichttemperatur maassgebend. Je grösser die Wärmemenge ist, welche schon in den tiefer gelegenen Theilen des Ofens für die verschiedenen Vorgänge verbraucht wird, und je langsamer die Gase im Hochofen aufsteigen, je geringer also ihre Menge im Verhältnisse zu dem Querschnitte des Ofens ist, desto abgekühlter werden sie den Ofen verlassen. Während daher jene Durchschnittstemperatur an der Gicht bei einzelnen Hochöfen nicht erheblich über 50° C. hinausgeht, erreicht sie bei anderen eine Höhe bis zu 500° C. und mitunter noch darüber.

Die Rücksicht auf jenen erheblichen Wärmeverbrauch für die Verflüchtigung des Wassergehaltes der Brauneisenerze bildete früher nicht selten eine Veranlassung sie zu rösten, auch wenn ein sonstiger Grund dafür nicht vorlag. Man glaubte Brennstoff im Hochofen sparen zu können, indem man den Wärmeverbrauch durch die vorausgehende Röstung verringerte. Die Beobachtungen beim Betriebe haben jedoch jene Erwartung nicht oder nur ausnahmsweise gerechtfertigt. Die Gichttemperatur steigt bei der Verwendung gerösteter statt ungerösteter Erze, d. h. die Gichtgase führen eine entsprechend reichlichere Wärmemenge aus dem Ofen davon. Unmittelbar findet also keine Ersparung an Wärme statt. Nun lässt sich zwar vermuthen, dass mittelbar eine Beeinflussung des Schmelzganges insofern stattfinden könne, als

1) Trav. Scient. II, p. 185; daraus in Percy-Wedding Eisenhüttenkunde, Abtheilung II, Seite 659.

in dem Ofen mit wärmerer Gicht die Reduction der Erze frühzeitiger beginne und demnach die Erze der Reductionswirkung des Gasstromes länger ausgesetzt bleiben, als in dem Ofen mit kälterer Gicht; da aber gerade die Brauneisenerze leicht reducirbar zu sein pflegen, bleibt auch dieser Umstand meistens ohne Belang. Nur bei sehr kleinen Hochöfen lässt sich ein mässiger Nutzen von der Anwendung gerösteter Brauneisenerze erwarten.

Bei einer Temperatur von ungefähr 300° pflegt die Reduction der Erze durch den Kohlenoxydgehalt des aufsteigenden Gasstromes zu beginnen; aber die Menge des abgegebenen Sauerstoffs bleibt unbedeutend, so lange die Erze nicht in einen erheblich wärmeren Theil des Ofens einrücken. Dass metallisches Eisen erst bei ungefähr 900° C. entstehen könne, ist schon bei der allgemeinen Besprechung des Verhaltens der Eisenoxyde (Seite 264) erwähnt worden. Verweilen die Erze längere Zeit in einer Temperatur von ungefähr 400°, so wird Kohlenstoff auf ihnen abgelagert.[1])

Enthält die Beschickung Carbonate (ungeröstete Spatheisensteine und Sphärosiderite sowie den fast immer als Zuschlagsmaterial verwendeten Kalkstein), so findet deren Zersetzung in einer Temperatur von ungefähr 800° C. statt. Schinz fand, dass die Zersetzung und Reduction der Spatheisensteine in einem Gasstrome, welcher etwa 34 Hunderttheile Kohlenoxyd neben Stickstoff enthielt, erst in Temperaturen begann, welche nicht erheblich unter 800° C. lagen[2]); es erklärt sich hieraus zum Theil, dass die gerösteten Eisencarbonate leichter reducirbar sind als die ungerösteten. Schöffel beobachtete, dass eine kalkspathhaltige Erzprobe, deren Kohlensäuregehalt ursprünglich 12,11 Hunderttheile gewesen war, noch 5,01 Hunderttheile Kohlensäure enthielt, also mehr als ein Drittel der ursprünglichen Menge, nachdem das Erz im Hochofen der Einwirkung des aufsteigenden Gasstromes in einer Temperatur von etwa 900° C. ausgesetzt gewesen war.[3])

Auch zur Zerlegung der Carbonate wird Wärme verbraucht. Wenn trotzdem eine vorausgehende Röstung des Kalksteines sich fast immer als wenig nutzenbringend für den Hochofenbetrieb erwiesen hat[4]), so lässt sich dieser Umstand durch verschiedene Ursachen erklären. Eines-

1) Man hat die Veränderungen, welchen die Erze und Zuschläge bei ihrem Niederrücken ausgesetzt sind, verfolgt, indem man durchlöcherte Kapseln aus Eisenblech mit den Probestücken füllte, an einer Stange befestigte und dann mit der Beschickung des Hochofens niedergehen liess. Aus verschiedenen Tiefen wurden sie emporgezogen, um dann untersucht zu werden. Näheres hierüber in den unter Literatur aufgeführten Abhandlungen von Tunner, Kupelwieser und Schöffel.

2) Dokumente betreffend den Hochofen, Seite 70.

3) Jahrbuch der Bergakademieen zu Leoben, u. s. w., Band XXI, Seite 194.

4) Vergl. unter Literatur die diesen Gegenstand betreffende Abhandlung von L. Bell. Versuche, die ich selbst bei einem kleinen Holzkohlenhochofen über das Verhalten des rohen und gerösteten Kalksteines anstellte, liessen das Rösten als zwecklos erscheinen. In anderen Fällen hat man eine geringe Vermehrung der Roheisenerzeugung oder eine Abminderung des Brennstoffverbrauchs bei Anwendung gebrannten Kalkes statt rohen Kalksteines beobachtet; selten aber sind die erlangten Vortheile so erheblich gewesen, dass sie nicht durch die Kosten des Brennens wieder ausgeglichen worden wären. Neuerdings will Cochrane bei einem Hochofen des Cleveländer Bezirkes durch Anwendung gebrannten Kalkes Brennstoff gespart haben. Näheres hierüber in „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 29.

theils nimmt gebrannter Kalk, wenn er nicht unmittelbar nach dem Brennen aufgegichtet wird, sondern vielleicht — wie es mitunter geschieht — erst Tage oder Wochen lang, den Einflüssen der Atmosphärilien preisgegeben, lagert, sehr bald Wasser und später auch Kohlensäure auf; der Zweck des Brennens geht also ganz oder doch zum grossen Theile wieder verloren. Anderntheils aber kann jene Temperaturerniedrigung, welche bei Anwendung rohen Kalksteines durch den Wärmeverbrauch für die Zersetzung des Carbonates und durch die hierbei stattfindende Vermehrung der Gasmenge hervorgerufen wird, in solchen Fällen günstig statt ungünstig den Verlauf des Hochofenschmelzens beeinflussen, wo durch Aufsteigen der Schmelztemperatur in eine Gegend des Ofens, in welcher noch beträchtliche Mengen unreducirter Erze vorhanden sind, deren vorzeitige Verschlackung herbeigeführt werden würde. Der Eisenhüttenmann nennt diese Erscheinung Oberfeuer; die Folge der vorzeitigen Verschlackung der Erze ist ein Mehraufwand fester Kohle für die Reduction (statt des Kohlenoxydes) und dadurch ein Mehrverbrauch an Wärme und Brennstoff (Seite 266). Dieser Umstand erklärt es jedenfalls auch, dass selbst eine theilweise Anwendung ungerösteter Spatheisensteine und Sphärosiderite mitunter sich als förderlich für den Verlauf des Hochofenschmelzens erwiesen hat.

Wird der Hochofen ganz oder theilweise mit unverkohlten Brennstoffen gespeist, so findet auch bei deren Niedergange Zersetzung statt. Die Zersetzung rohen Holzes beginnt schon bei etwa 150° C., und ist bei 400° C. ziemlich vollständig beendigt, obschon kleine Mengen Wasserstoff noch in heller Rothgluth zurückgehalten und vermuthlich erst bei der Verbrennung der Kohle vollständig verflüchtigt werden. Die Zersetzung der Steinkohlen geht in einer Temperatur vor sich, welche nach der Beschaffenheit der Kohlen verschieden sein kann, jedenfalls aber höher liegt als die Zersetzungstemperatur des Holzes. Auch dieser Vorgang ist mit einem Wärmeverbrauche und einer Erniedrigung der Temperatur im Hochofen verknüpft.

Die Temperatur, wo nun die Sinterung der nicht reducirten Bestandtheile der Erze und Zuschläge ihren Anfang nimmt, ist unter verschiedenen Verhältnissen verschieden und sowohl von der mineralogischen Beschaffenheit der einzelnen Stücke als von der chemischen Zusammensetzung der gesammten Beschickung abhängig. In ersterer Beziehung kommt der Umstand in Betracht, dass oft einzelne Bestandtheile der Beschickung — Quarz, Kalk, Magnesia u. v. a. — an und für sich unschmelzbar sind, die Sinterung also erst vor sich gehen kann, wenn zugleich eine Vereinigung mehrerer Körper stattfindet. Da aber diese Vereinigung, d. i. die Schlackenbildung, oft eine erheblich höhere Temperatur verlangt als diejenige, bei welcher die fertig gebildete Schlacke flüssig wird (Seite 181), jedenfalls eine um so länger fortgesetzte gegenseitige Einwirkung nöthig macht, je weniger hoch die herrschende Temperatur über der Schmelztemperatur der fertigen Schlacke liegt, werden Gemenge von Erzen und Zuschlägen, die chemisch ganz ähnlich zusammengesetzt sind, dennoch in jener Beziehung ein abweichendes Verhalten zeigen können, je nachdem die äussere Form ihrer Bestandtheile die Vereinigung mehr oder weniger erleichtert. Enthielt z. B. die Beschickung Silikate, also bereits fertig ge-

bildete, schmelzbare Verbindungen, so wird die Sinterung frühzeitiger beginnen, als wenn die Bestandtheile dieser Silikate im getrennten Zustande, d. h. als selbständige Körper, zugegen waren, und das schmelzende Silikat wird verhältnissmässig leicht auch noch andere Bestandtheile der Beschickung auflösen und solcherart zum Schmelzen bringen. Ein Eisenerz, welches mit fein vertheiltem Quarz durchwachsen, dicht und der Reduction schwer zugänglich ist, wird, wenn es im unvollständig reducirten Zustande einer höheren Temperatur ausgesetzt wird, Neigung zeigen, zu verschlacken; ein anderes Erz von der nämlichen chemischen Zusammensetzung, dessen Kieselsäuregehalt aber aus Anhäufungen einzelner grober Quarzkrystalle besteht, welche wenig Berührung mit dem Eisengehalte oder den sonstigen Bestandtheilen der Erzstücke besitzen, wird einer länger fortgesetzten Erhitzung bedürfen, um verschlackt zu werden. Letzteres Erz wird demnach im Hochofen längere Zeit als ersteres im ungeschmolzenen Zustande der reducirenden Einwirkung des Gasstromes ausgesetzt bleiben; die entstehende Schlacke ist eisenärmer, das Maass der Reduction durch Kohlenstoff geringer.

Ueber die Beziehungen zwischen chemischer Zusammensetzung und Schmelztemperatur der Schlacke wurden auf Seite 181—187 bereits die bis jetzt vorliegenden Beobachtungsergebnisse mitgetheilt.

Schinz fand bei Versuchen im Kleinen, bei welchen quarzhaltige Erzstücke in verschiedenen Temperaturen der Einwirkung kohlenoxydhaltiger Gasgemenge ausgesetzt wurden, dass bei Abwesenheit von Kalk schon bei 800 ° C. Eisensilikat im weich gewordenen Zustande sich durch die Erze vertheilte; bei Anwesenheit von Kalk war dies weniger der Fall, der Kalk verschwand zum Theil und durchdrang die Erzstücke, diese aufschwellend, ohne ihre Form zu verändern, und die so durchdrungenen Erze waren porig und leicht zerdrückbar.[1])

Erhard und Schertel fanden die Entstehungstemperatur einer Hochofenschlacke, welche 50 Hunderttheile SiO_2, 17 Hunderttheile Al_2O_3, 30 Hunderttheile CaO, 3 Hunderttheile FeO enthielt, bei 1392° C., die Schmelztemperatur der fertigen Schlacke bei 1166° C.[2]); im Hochofen jedoch ist die Zusammensetzung der entstehenden Schlacke, aus welcher unter der reducirenden Einwirkung der weissglühenden Kohle in dem unteren Theile des Hochofens noch verschiedene Bestandtheile, insbesondere Eisenoxydul und Manganoxydul, austreten, eine andere als diejenige der aus dem Ofen ausfliessenden Endschlacke. Man ist daher nicht berechtigt, aus der Zusammensetzung der letzteren auf ihre Entstehungstemperatur zu schliessen; diese Entstehungstemperatur wird oft nicht unerheblich tiefer liegen, als wenn die Schlacke bereits ebenso wie bei Beendigung des Schmelzens zusammengesetzt wäre.

Aus demselben Grunde wird bei Verhüttung kalkerdereicher, basischer Beschickungen die Schlackenbildung durchschnittlich erst in einer höheren Temperatur erfolgen als bei Verhüttung kalkerdearmer mit grösserem Kieselsäuregehalte; denn selbst wenn die Entstehungs- und

1) Dokumente betreffend den Hochofen, Seite 78.

2) Jahrbuch für Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen auf das Jahr 1879, Seite 168.

Schmelztemperatur derjenigen Schlacke, welche schliesslich aus dem Hochofen hervorgeht, in beiden Fällen die nämliche sein sollte, ist doch bei jener basischen Beschickung die Neigung der schlackengebenden Bestandtheile geringer, unreducirte Metalloxyde (Eisenoxydul, Manganoxydul) aufzulösen, und weniger als bei kieselsäurereicher Beschickung wird die Entstehungstemperatur der sich bildenden Schlacke durch die Aufnahme jener ebenfalls basischen Körper erniedrigt werden.

Eben deshalb tritt auch eine vorzeitige Verschlackung von unreducirtem Eisen weniger leicht bei basischer als bei kieselsäurereicher Beschickung ein.

Während dieser beginnenden Sinterung der schlackenbildenden Körper hat nun das reducirte Eisen infolge seiner Berührung mit glühenden Kohlen mehr und mehr Kohlenstoff aufgenommen und dadurch seine Schmelztemperatur erniedrigt; es beginnt ebenfalls zu schmelzen (Schmelztemperatur 1100—1200°).

Je weiter aber die schmelzenden Massen nach unten rücken, einer desto höheren Temperatur werden sie ausgesetzt, desto stärker wird infolge davon das Vereinigungsbestreben des Kohlenstoffs zum Sauerstoff, desto stärker seine reducirende Kraft. Aus der schon gebildeten Schlacke wird bei ihrer Berührung mit den weissglühenden Kohlen noch Eisen reducirt; ebenso Phospor, falls solcher zugegen ist, und unter günstigen Verhältnissen Silicium und Mangan. D e r U m s t a n d, d a s s E i s e n l e i c h t e r r e d u c i r b a r i s t a l s d i e b e i d e n z u l e t z t g e n a n n t e n K ö r p e r, e r k l ä r t e s, d a s s, s o f e r n e i n e e i s e n r e i c h e S c h l a c k e e n t s t a n d e n w a r, e i n s i l i c i u m- o d e r m a n g a n r e i c h e s E i s e n n i c h t g e b i l d e t w e r d e n k a n n; d e r S i l i c i u m- o d e r M a n g a n g e h a l t s e l b s t w ü r d e s o g a r b e i d e r B e r ü h r u n g z w i s c h e n S c h l a c k e u n d E i s e n a l s R e d u c t i o n s m i t t e l f ü r d e n E i s e n o x y d u l g e h a l t d e r e r s t e r e n d i e n e n. Phosphor dagegen wird seiner grössten Menge nach stets reducirt; merkliche Spuren bleiben in der Schlacke überhaupt nur dann zurück, wenn die Beschickung sehr phosphorreich und die Temperatur des Ofens verhältnissmässig niedrig ist.

Auch die Reduction des Mangans und Siliciums wird durch hohe Temperatur im Schmelzraume befördert. Die Reduction des Mangans erfolgt leichter und vollständiger aus stark basischer Schlacke; Silicium wird zwar aus einer kieselsäurereicheren Schlacke, sofern sie nicht grössere Mengen Eisenoxydul enthält, leichter als aus basischer reducirt; aber auch basische Beschickungen liefern siliciumhaltiges Eisen, sofern die Temperatur hoch genug ist (Seite 285).

Endlich gelangen die geschmolzenen Massen in den Verbrennungsraum des Ofens, tropfen hier — wie sich durch die Formen beobachten lässt — zwischen den weissglühenden Kohlen hindurch und sammeln sich im Herde, das Roheisen zu unterst, die Schlacke zu oberst.

Enthielt die Beschickung Zink, so wird dieses in einer Temperatur von 1100° reducirt und, da es nur sehr geringe Fähigkeit besitzt, mit dem Eisen sich zu legiren (Seite 308), auch jene Reductionstemperatur höher liegt als seine Verdampfungstemperatur, von dem aufsteigenden Gasstrome mitgenommen. Jene Reduction und Verdampfung des Zinkes

aber erheischt einen reichlichen Aufwand an Wärme [1]; gelangt daher durch Zufall (z. B. durch Abbröckeln zinkischer Anbrüche vom Ofenmauerwerk) einmal mehr Zink nach unten als bei regelmässigem Schmelzgange, so ist eine Temperaturerniedrigung im Schmelzraume die Folge davon. Das verflüchtigte Zink aber wird zum grossen Theile schon in dem obern Theile des Hochofens durch den hier reichlich anwesenden Wasserdampf- und Kohlensäuregehalt des Gasstromes oxydirt und geht theils als feiner Staub mit den Gasen davon, theils setzt es sich an den Ofenwänden unterhalb der Gicht fest, hier die erwähnten zinkischen Anbrüche oder den Gichtschwamm bildend (vergleiche auch Seite 487 sowie unten: Nebenerzeugnisse des Hochofenbetriebes). Im Roheisen wird niemals, in der Schlacke nur selten eine Spur von Zink gefunden.

Auch der selten oder niemals ganz fehlende Kupfer- und Bleigehalt der Beschickung wird bei deren allmählichem Niederrücken vollständig reducirt. Das Kupfer legirt sich mit dem Eisen; das Blei geht zum geringen Theile dampfförmig mit dem Gasstrome davon, ein grösserer Theil sinkt unter das Roheisen, ohne von diesem aufgenommen zu werden, sickert durch den Bodenstein und kann unter diesem abgeleitet werden (Seite 379).

Wie das Kupfer verhalten sich Nickel und Kobalt, auch Antimon und Arsen. Trotz seiner Flüchtigkeit bleibt das Arsen zum grossen Theile bei dem Eisen zurück (über das Verhalten des Arsens beim Erhitzen der Erze vergleiche Seite 221).

Um einen Ueberblick zu erhalten, in welchem Theile des Hochofens sich dieser oder jener der besprochenen Vorgänge vollzieht, auch um einen Vergleich der Eigenthümlichkeiten des Schmelzganges verschiedener Hochöfen anstellen zu können, hat man mehrfach Temperaturmessungen des Ofeninnern an verschiedenen Stellen ausgeführt.[2] Unmittelbar über den Formen fand man Temperaturen von 1600° bis 2000°, bei Weisseisendarstellung niedriger, bei Graueisendarstellung höher; in der Gegend des Kohlensackes 700 bis 1500°, bei grossen Oefen auch wohl noch darüber; an der Gicht die schon mitgetheilten Temperaturen, meistens 200 bis 400°. Eine einigermaassen zuverlässige derartige Ermittelung begegnet indess erheblichen Schwierigkeiten. Die zur Messung hoher Temperaturen geeigneten Werkzeuge lassen sich in das Ofeninnere kaum einführen, ohne einer Gefahr der Beschädigung unterworfen zu sein; man benutzte daher für die Messung gewöhnlich Metalllegirungen, in einem eingeführten Eisenstabe befestigt, nach deren Verhalten — ob sie schmolzen oder nicht — man die Temperatur

1) Die Verbrennungswärme des Zinkes beträgt nach Favre und Silbermann 1291 W.-E. Zur Reduction von 1 kg Zink aus Zinkoxyd sind $^{16}/_{65}$ kg Kohlenstoff erforderlich ($ZnO + C = Zn + CO$), durch deren Verbrennung $^{16}/_{65} \times 2473 = 609$ W.-E. entwickelt werden; daher der Wärmeverbrauch für die Reduction von 1 kg Zink $1291 - 609 = 682$ W.-E. Hierzu kommt die Verdampfungswärme, deren Maass nicht bekannt ist.

2) Jahrbuch der österreichischen Bergakademieen, Band XXI, Seite 232 (Kupelwieser); Zeitschr. f. Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preussischen Staate, Band XIX (Jüngst).

schätzte. Hierzu kommt aber der Umstand, dass in einem und demselben Ofenquerschnitte ziemlich grosse Temperaturunterschiede obzuwalten pflegen, je nachdem die Messung in der Mitte oder in der Nähe des Umfangs angestellt wurde. Letzterer Umstand kann durch nachstehende Zusammenstellung der Temperaturen veranschaulicht werden, welche durch Wiebmer bei einem Gleiwitzer Hochofen gemessen wurden.[1]) Der Ofen maass 13,6 m von der Formebene bis zur Gicht; Durchmesser in der Formebene 2,56 m, im Kohlensack 5,34 m, in der Gicht 3,92 m; Rauminhalt des Ofens 215 cbm. Die Windtemperatur betrug 350° C., Windmenge 150 cbm in der Minute. Die Beschickung bestand für jede Gicht aus 180 kg Frischschlacken, 135 kg Brauneisenstein, 135 kg Spatheisenstein (von letzterem die Hälfte roh, die andere Hälfte geröstet) nebst 165 kg Zuschlagskalkstein. Die Durchsetzzeit war fast 24 Stunden, die Erzeugung in 24 Stunden 36 Tonnen weisses Roheisen, der Koksverbrauch zur Darstellung von 100 kg Roheisen 155 kg.

Die gemessenen Temperaturen waren folgende (in Graden Celsius):

	Formebene	0,44 m	1,47 m	5,54 m	7,64 m	9,83 m	12,03 m	Gicht
		über der Formebene						
Ofenmitte	1300°	1400°	1400°	1200°	955°	850°	680°	140
Zwischen Mitte und Wand	1500°	1500°	1300°	1000°	700°	525°	432°	bis
An den Wänden	1600°	1300°	1400°	1200°	900°	815°	575°	290°

In der Mitte und unmittelbar an den Wänden herrschte demnach ziemlich regelmässig die höchste Temperatur, und dazwischen befand sich ein kühlerer Ring. In dem oberen Theile des Ofens aber zeigte sich auch an den Wänden eine rascher fortschreitende Abkühlung als in der Mitte des Ofens.

Letztere Erscheinung lässt sich aus dem Umstande erklären, dass beim Aufgichten die Erze mehr an dem Umfange, die Koks mehr in der Mitte des Ofens angehäuft wurden; erstere aber verbrauchen wegen ihres grösseren Wassergehaltes sofort reichlichere Wärmemengen als letztere. Die höhere Temperatur an den Ofenwänden im Vergleich zu der Temperatur zwischen Wand und Ofenmitte findet ihre Erklärung aus dem Bestreben der Gase, an den Wänden aufzusteigen.

Zu den oben geschilderten Veränderungen, welche die festen Körper bei ihrem Niedergange im Ofen erleiden, stehen die Veränderungen, welchen die Zusammensetzung des Gasgemenges bei dem Aufsteigen von der Formgegend bis zur Gicht unterworfen ist, in enger Beziehung.

Durch die Formen wird gepresste atmosphärische Luft eingeblasen, bestehend aus einem Gemenge von Stickstoff und Sauerstoff, daneben auch kleine Mengen Kohlensäure und Wasserdampf enthaltend.

1) Zeitschr. f. Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preussischen Staate, Band XXII, Seite 289. Auch durch Tunner wurden Versuche über diese Abweichungen der Temperatur angestellt (Jahrbuch der Bergakademieen zu Leoben u. s. w., Band IX, Seite 296).

Sobald die Luft auf die bei ihrem Niedergange schon stark erhitzten Kohlen trifft, beginnt die Verbrennung. Sie verläuft um so rascher, d. h. der eingeblasene Sauerstoff wird um so früher verzehrt, je höher die Temperatur in dem Verbrennungsraume und je vollständiger, ausgedehnter die gegenseitige Berührung zwischen Luft und Brennstoff ist. Daher befördern Erhitzung des Windes und seine Vertheilung in zahlreiche einzelne Strahlen mit grösserer Gesammtoberfläche, porige Beschaffenheit des Brennstoffs und bis zu einem gewissen Grade auch stärkere Pressung des Windes, durch welche er befähigt wird, zwischen den Stücken des Brennstoffs hindurch seinen Weg bis in die Mitte des Ofens zu nehmen, und welche ihn in innigere Berührung mit dem Brennstoffe bringt, die rasche Verbrennung. Das Enderzeugniss der Verbrennung ist in allen Fällen Kohlenoxyd, wie aus dem Umstande sich ergiebt, dass der Gasstrom immer auf's Neue mit weissglühenden Kohlen in Berührung tritt; dabei ist jedoch nicht ausgeschlossen, dass bei der ersten augenblicklichen Berührung zwischen Brennstoff und Sauerstoff gewisse Mengen von Kohlensäure gebildet werden, welche erst allmählich bis auf kleine etwa zurückbleibende Theile wieder verschwinden. Ebenso erklärt es sich leicht, dass in den Gasen, die unmittelbar über den Formen dem Hochofen entnommen werden, auch noch unverzehrter Sauerstoff gefunden werden kann. Je höher aber die Temperatur vor den Formen ist, desto rascher verschwindet aller freie Sauerstoff, und Kohlensäure kann überhaupt in sehr hohen Temperaturen nicht mehr bestehen.

Der nächste Zweck der Verbrennung der Kohlen vor den Formen ist die Erzeugung der für das Schmelzen erforderlichen Temperatur. Die bei der Verbrennung entstehende Temperatur ist abhängig von der Wärmeleistung des Brennstoffs, von der stattgehabten Vorwärmung der Brennstoffe und Schmelzmaterialien bei ihrem Niedergange, von der Temperatur des Gebläsewindes, von dem Verhältnisse zwischen der Menge des Brennstoffs und der zu erhitzenden Körper. Es ist leicht zu ermessen, dass unter übrigens gleichen Verhältnissen die Temperatur im Verbrennungsraume sinken muss, wenn das Verhältniss des Erzsatzes zum Brennmaterial gesteigert wird; denn wenn die Menge der wärmeaufnehmenden Körper zunimmt, muss die Temperatur abnehmen (vergl. Seite 49).

Die von der Luft mitgebrachte Kohlensäure bleibt, da ihre Menge unbeträchtlich ist (0,04 Hundertstel Raumtheile), ohne merklichen Einfluss für das Hochofenschmelzen. Nicht ganz so unwesentlich ist der Wassergehalt des Windes. Bekanntlich steigt die Fähigkeit der atmosphärischen Luft, Wasserdampf aufzulösen, mit der Temperatur; bei Null Grad Temperatur vermag die Luft 0,35 Hunderttheile ihres Eigengewichtes Wasserdampf aufzunehmen, bei 10° C. 0,70 Hunderttheile, bei 20° C. 1,34 Hunderttheile. Zur Verbrennung von 1 kg Kohlenstoff im Hochofen ist 5,65 kg atmosphärische Luft erforderlich; bei einem Wassergehalte der Luft von 0,70 Hunderttheilen, welcher im Sommer auch bei trockenem Wetter nicht selten vorkommt, wird also für 1 kg verbrannter Kohle 0,04 kg Wasser in den Ofen geführt. Dieser Wasserdampf zersetzt sich in Berührung mit den glühenden Kohlen in Wasserstoffgas und Kohlenoxyd; der hierbei stattfindende Wärmeverbrauch

beziffert sich, da 1 kg Wasserdampf bei dieser Umsetzung 1549 W.-E. mehr verbraucht als erzeugt (Seite 104), auf 62 W.-E. Da 1 kg Kohle bei der Verbrennung zu Kohlenoxyd 2473 W.-E. entwickelt, beträgt jener Wärmeverbrauch in dem angeführten Beispiele 2,5 Hunderttheile von der erzeugten Wärme, und eine grössere Menge Brennstoff ist erforderlich, um die erforderliche Temperatur im Verbrennungsraume zu erzeugen. Unter ungünstigen Verhältnissen kann der Wassergehalt erheblich beträchtlicher sein, als oben angenommen wurde, und in demselben Maasse wird sich alsdann auch der Brennstoffverbrauch steigern.

Die besonders an kleineren Hochöfen häufig beobachtete Erscheinung, dass im Winter der Brennstoffbedarf zur Darstellung einer gleichen Menge Roheisen geringer ausfällt als im Sommer, findet in jenem Vorgange ihre Erklärung.

In der hohen Temperatur unmittelbar über den Formen bleibt selbst der Stickstoff nicht ganz chemisch unthätig. Aus der Kohle, dem Stickstoff und dem Alkaligehalt der Beschickung wie der Asche bilden sich Cyanide der Alkalien, welche in dieser Temperatur flüchtig sind und mit dem Gasstrome aufsteigen. Bell fand in den Gasen eines mit Koks betriebenen Hochofens von 24 m Höhe, welche 2,5 m oberhalb der Form entnommen waren, als Durchschnitt aus sechs verschiedenen Proben in 1 cbm Gas 15 g Cyan neben 29 g Kalium und Natrium[1]; mehrfach sind bereits früher Vorschläge gemacht worden, das im Hochofen gebildete Cyankalium durch Einlassen einer Röhre in den Raum oberhalb der Formen, wo die grösste Menge dieses Salzes vorhanden ist, für technische Zwecke zu gewinnen.[2]) Verhältnissmässig reichlicher noch als in Kokshochöfen dürfte das Vorkommen bei Anwendung von Holzkohlen als Brennstoff sein, deren Asche bekanntlich vorwiegend aus Kaliumcarbonat besteht.

Durch die in dem Schmelzraume des Ofens stattfindende Reduction von Mangan, Silicium und Eisen durch Kohle aus den bereits vollständig oder theilweise verschlackten Oxyden mehrt sich häufig der Kohlenoxydgehalt des aufsteigenden Gasgemenges, bis dieses nun in jene Gegend des Hochofens einrückt, wo das Kohlenoxyd seine reducirende Einwirkung auf vorhandene Eisenoxyde beginnt, die Schmelzung der letzteren also noch nicht begonnen hat. Von nun an würde bei ideellem Verlaufe des Hochofenschmelzens der Kohlenoxydgehalt der Gase bis zur Gicht immer mehr ab-, der Kohlensäuregehalt immer mehr zunehmen. Nicht immer jedoch entspricht die Zusammensetzung der Gase diesem Verlaufe. Nicht allein die Erze, sondern auch die niederrückenden Kohlen sind der Einwirkung des aufsteigenden heissen Gasstromes ausgesetzt; durch die sich bildende Kohlensäure wird ein Theil davon verbrannt, und es entsteht auf's Neue Kohlenoxyd. Dieser Vorgang ist, sofern die Menge des vor den Formen gebildeten Kohlenoxyds allein ausreicht, die Reduction der Erze zu bewirken, gleichbedeutend mit einem Mehraufwande an Kohlenstoff; denn der solcherart vergaste Kohlenstoff entweicht aus dem Hochofen, ohne irgend für das Hochofenschmelzen nützlich gewesen zu sein. Eine Beschränkung

1) Oesterr. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 1882, Seite 485.
2) Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abtheilung II, Seite 258.

dieser Verbrennung von Kohlenstoff durch gebildete Kohlensäure ist also wünschenswerth für die günstige Ausnutzung des Brennstoffs.

Befördert wird jene Umwandlung der Kohlensäure in Kohlenoxyd durch hohe Temperatur, durch längere Zeitdauer der gegenseitigen Einwirkung, durch grosse, vom Kohlenstoff dargebotene Berührungsfläche. Es folgt hieraus, dass eine allzu hohe Temperatur in dem Theile des Ofens oberhalb des eigentlichen Schmelzraumes, welche durch vorzeitige Verschlackung unreducirten Eisens den Verlauf des Schmelzens benachtheiligt, auch durch reichlichere Vergasung von Kohlenstoff den Brennstoffverbrauch erhöht; und es erklärt sich, dass auch in dieser Beziehung eine durch Zersetzung rohen Kalksteines oder roher Brennstoffe herbeigeführte Abkühlung des Ofens unter Umständen günstig auf die Brennstoffausnutzung im Hochofen einwirken kann. Da aber besonders bei Anwendung rohen Kalksteines die Gelegenheit zur Kohlenstoffvergasung durch die ausgetriebene Kohlensäure erheblich ausgedehnt wird, so beweist eben dieser Umstand, dass jene mit der Zersetzung verknüpfte Abkühlung ein kräftiges Gegenmittel gegen diese Reduction der Kohlensäure durch Kohlenstoff bildet. Ebenso erklärt sich hierdurch leicht die mehrfach besprochene Thatsache, dass die leichtere Bauart der neueren Hochöfen keine nachtheiligen Einflüsse auf die Brennstoffausnutzung hat erkennen lassen.

Auch der Umstand, dass eine übermässige Erhöhung der Hochöfen sich erfahrungsmässig als ziemlich nutzlos für die Brennstoffausnutzung erwiesen hat, lässt sich wenigstens zum Theil auf die vermehrte Vergasung von Kohlenstoff durch Kohlensäure in höheren Oefen zurückführen; denn je höher der Ofen ist, desto länger bleiben Erze und Brennstoffe der Einwirkung des aufsteigenden Gasstromes ausgesetzt, desto umfangreichere Gelegenheit findet sich zwar für die Reduction der Erze durch Kohlenoxyd, daneben aber auch für die Reduction der entstandenen Kohlensäure durch Kohle, und sobald die Höhe des Ofens ausreichend ist, um jene Reduction der Erze zu ermöglichen, muss eine fernere Erhöhung durch die längere Einwirkung der entstehenden Kohlensäure auf die niederrückenden Kohlen eine vermehrte Vergasung der letzteren herbeiführen.

Holzkohlen werden leichter verbrannt als Koks, porige Koks leichter als dichte, diese leichter als Anthrazite. Die Grenze, wo eine weitere Erhöhung des Ofens aufhört, nutzenbringend für die Brennstoffausnutzung zu sein, wird aber — auch wenn man von der leichteren Zerreiblichkeit der weniger dichten Brennstoffe ganz absieht — um so früher erreicht werden, je leichter verbrennlich der Brennstoff ist, wie sich unschwer aus dem soeben Gesagten über die Folgen einer länger fortgesetzten Einwirkung der Gase auf den Brennstoff ableiten lässt. Auch von diesem Gesichtspunkte aus erscheint die Regel vollständig berechtigt, dass die Höhe des Ofens um so beträchtlicher sein kann, ehe die Grenze des Zweckmässigen erreicht wird, je schwerer verbrennlich, dichter der angewendete Brennstoff ist.[1])

Kleinstückige Brennstoffe bieten eine grössere Oberfläche dar, lie-

1) Bei Verwendung von Anthraziten als Hochofenbrennstoff lässt deren Neigung, in kleine Stücke zu zerspringen, welche den Ofen verstopfen können, die Anwendung sehr hoher Oefen nicht thunlich erscheinen.

fern also eine ausgiebigere Gelegenheit zu der Reduction von Kohlensäure in dem obern Theile des Ofens als grobstückige.

Aus dem Einflusse der längeren Zeitdauer der gegenseitigen Einwirkung auf die Vergasung des Kohlenstoffs durch gebildete Kohlensäure folgt aber der wichtige, durch die Erfahrungen des Betriebes bestätigte Satz, dass es für den aufsteigenden Gasstrom eine bestimmte Geschwindigkeit giebt, welche nicht ohne Nachtheil, d. h. ohne Vermehrung des Brennstoffverbrauches, unterschritten werden darf; denn jede Verringerung dieser Geschwindigkeit ist gleichbedeutend mit einer längeren Zeitdauer der Einwirkung der Kohlensäure auf den niederrückenden Kohlenstoff, d. i. mit einer vermehrten Vergasung des letzteren. Dass auch der entgegengesetzte Fall, eine zu grosse Beschleunigung des Gasstromes, nachtheilig für den Verlauf des Hochofenschmelzens sein muss, ist leicht erklärlich; die Erze werden unvollständiger durch die Gase reducirt und erhitzt, und die Folge hiervon ist ein Mehrbedarf an Brennstoff im Schmelzraume des Ofens für die Reduction durch Kohle und für die Erzeugung der erforderlichen Temperatur. Bei Hochöfen von gegebenen Querschnittsabmessungen ist die Geschwindigkeit des Gasstromes vornehmlich abhängig von der Menge des in gleichen Zeiträumen verbrannten Brennstoffs, diese aber von der Menge des eingeblasenen Windes.

Es ergiebt sich hieraus, dass die günstige Ausnutzung des Brennstoffs ebensowohl durch Zuführung einer zu geringen als einer zu bedeutenden Windmenge benachtheiligt wird. Je höher der Ofen ist, desto grösser sollte auch die Geschwindigkeit des Gasstromes sein, um allzu lange Berührung mit den Kohlen zu verhüten; da aber mit der Geschwindigkeit des Gasstromes auch die von ihm zu überwindenden Widerstände wachsen, würde auch die erforderliche Leistungsfähigkeit der Gebläsemaschine unverhältnissmässig gross ausfallen müssen, wenn jener Bedingung Genüge geschehen sollte.

Die über den Formen gebildeten Cyanide zerfallen theilweise, wenn sie bei ihrem Aufsteigen auf glühende unreducirte Erze treffen, indem sie reducirend auf diese wirken. Bell fand an denselben Tagen, wo die Hochofengase über den Formen in einem Cubikmeter 15 g Cyan nebst 29 g Alkalimetallen enthielten, in den Gichtgasen desselben Hochofens nur noch 3,8 g Cyan neben 9 g Kalium und Natrium. Von der ursprünglich vorhandenen Menge waren mithin 80 Hunderttheile Cyan und 69 Hunderttheile Alkalien verschwunden.

Jene aus dem Gasstrome ausgetretenen Alkalien müssen von der Schlacke aufgenommen und wieder nach unten geführt werden, wo sie erneute Gelegenheit zur Bildung von Cyaniden finden. Auf diese Weise wird ein Kreislauf eingeleitet, und nach dem Anblasen eines Hochofens wird sich die Menge der über den Formen gebildeten Cyanide infolge der stetig stattfindenden neuen Zuführung von Alkalien mehr und mehr anreichern, bis schliesslich vermuthlich ein Gleichgewichtszustand eintritt, bei welchem die überschüssig zugeführten Alkalien theils flüchtig aus der Gicht entweichen, theils von der Schlacke aus dem Ofen geführt werden.

Waren rohe oder unvollständig verkohlte Brennstoffe aufgegeben, so mischen sich deren flüchtige Zersetzungsgebilde — vornehmlich

Wasserstoff, Kohlenwasserstoffe und Kohlenoxyd — mit den aufsteigenden Gasen. Schweres Kohlenwasserstoffgas, sofern solches überhaupt bei der Zersetzung entsteht, zerfällt alsbald, indem es reducirend auf die Erze einwirkt; leichtes Kohlenwasserstoffgas hinterbleibt.

Unter fortschreitender Vermehrung ihres Sauerstoffgehaltes gelangen die Gase in die Nähe der Gicht, nehmen hier den ausgetriebenen Wasserdampf auf und entweichen schliesslich mit diesem aus dem Ofen.

Dem geschilderten Verlaufe entsprechend bestehen sie an der Gicht aus Stickstoff, Kohlenoxyd, Kohlensäure, Kohlenwasserstoffgas und Wasserstoff; daneben enthalten sie Wasserdampf und den nie ganz fehlenden Gichtstaub, dessen Zusammensetzung unter den Nebenerzeugnissen des Hochofenbetriebes Besprechung finden wird.

Aufschluss über die hier geschilderten Vorgänge geben uns die Analysen der Gase, welche aus verschiedenen Höhenlagen des Hochofens entnommen wurden. In der That verdanken wir solchen Gasuntersuchungen unsere erste Kenntniss von dem eigentlichen Verlaufe des Hochofenschmelzens, und die von Bunsen bei dem kleinen Holzkohlenhochofen zu Veckerhagen bei Kassel im Jahre 1839 ausgeführten Untersuchungen gaben die erste Anregung zu der Anwendung der Gasanalyse überhaupt. Spätere Untersuchungen wurden durch Ebelmen in Frankreich, Rinman und Fernquist in Schweden, Bunsen und Playfair in England, Tunner, Richter, Kupelwieser und Schöffel in Steiermark durchgeführt.[1])

Nicht ausser Acht lassen darf man den Umstand, dass es, zumal in den unteren Theilen des Hochofens, sehr schwierig ist, richtige Durchschnittsproben der Gase zu erhalten. Denn, wie mehrfach erwähnt wurde, an den Wänden des Ofens pflegen sich die Brennstoffe, in der Mitte die Erze und Zuschläge anzuhäufen; die Gase aber nehmen mit Vorliebe ihren Weg an den Wänden. Eine Gasprobe aus der Mitte des Ofens und eine zweite aus der Nähe des Umfangs pflegen deshalb ziemlich abweichende Zusammensetzung zu besitzen, auch wenn sie in ganz der nämlichen Höhenlage entnommen wurden. Gichtgase von annähernd richtiger durchschnittlicher Zusammensetzung lassen sich, sofern der Ofen mit Gichtverschluss versehen ist, aus der Gasleitung entnehmen.

Dennoch sind, wie erwähnt, jene früheren Untersuchungen von hoher Bedeutung für die Erkennung der Vorgänge im Ofeninnern gewesen. Zur Beurtheilung, in welcher Weise sie dazu befähigt waren, möge man Folgendes erwägen.

1) Bunsens Untersuchungen in Veckerhagen: Poggendorffs Annalen, Band XLVI (1839), Seite 193; Ebelmens Untersuchungen: Annales des mines, série 3, tome XX, p. 395; série 4, tome V, p. 24; série 4, tome XIX, p. 117; Bunsens und Playfairs Untersuchungen: Report of the British Association 1846, p. 170. Hinsichtlich der bei steirischen Hochöfen ausgeführten Untersuchungen vergl. Literatur.

Eine Zusammenstellung der Ergebnisse aller wichtigeren bis zum Jahre 1866 ausgeführten derartigen Untersuchungen findet sich in Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abtheilung II, Seite 217 ff.

In der Jetztzeit pflegt man sich auf die Untersuchung der Gichtgase zu beschränken, deren Zusammensetzung allein schon ausreichend ist, manche werthvolle Schlussfolgerungen auf die Eigenthümlichkeiten des Schmelzganges eines Hochofens zu ermöglichen. Einiges Nähere hierüber wird unten mitgetheilt werden.

Der gesammte Sauerstoffgehalt der Hochofengase an irgend einer beliebigen Stelle entstammt zwei verschiedenen Quellen. Ein Theil ist durch das Gebläse von aussen her zugeführt, und zwar seiner grösseren Menge nach als freier Sauerstoff, in kleinerer Menge als Bestandtheil des Feuchtigkeitsgehaltes des Gebläsewindes. Da dieser Feuchtigkeitsgehalt vor den Formen unter Wasserstoffbildung zerlegt wird, ergiebt die Menge des in den Gasen unmittelbar über den Formen gefundenen Wasserstoffs leicht die zugehörige Menge Sauerstoff; 2 Raumtheile Wasserstoff entsprechen 1 Raumtheil Sauerstoff. Der Stickstoffgehalt der eingeblasenen Luft bleibt, sofern man von der für eine solche Berechnung immerhin nicht sehr wesentlichen Bildung von Cyan und Cyaniden im unteren Theile des Ofens absieht, unverändert. Da nun in der atmosphärischen Luft 100 Raumtheile Stickstoff 26,5 Raumtheilen Sauerstoff entsprechen, lässt sich berechnen, wie viel des in den Gasen enthaltenen Sauerstoffs durch die Gebläseluft eingeführt wurde. Findet sich nun, wie es fast immer der Fall sein wird, ein grösserer Sauerstoffgehalt in den Gasen, so muss er der Beschickung entstammen, und zwar entweder durch Reduction der Erze oder durch Zerlegung von Carbonaten oder auch aus sauerstoffhaltigen Brennstoffen in das Gasgemisch geführt sein. Eine chemische Untersuchung der betreffenden Schmelzmaterialien an der Stelle, wo die Gase entnommen sind, und ein Vergleich mit der Zusammensetzung der Enderzeugnisse (Roheisen, Schlacke) würde erforderlichen Falls genauen Aufschluss hierüber geben können. Findet sich dagegen ein geringerer Sauerstoffgehalt in den Gasen, als von aussen zugeführt wurde, so lässt dieser Umstand, sofern nicht Unrichtigkeiten in den Ergebnissen der Untersuchung die Schuld tragen, auf eine stattgehabte Oxydation fester oder flüssiger Körper (Mangan, Silicium, Eisen) schliessen.

Die Berechnung des gesammten Sauerstoffgehaltes der Gase ist nicht schwierig, da er mit Kohle theils zu Kohlensäure, theils zu Kohlenoxyd verbunden ist. 1 Raumtheil Kohlensäure enthält die gleiche Raummenge Sauerstoff, 1 Raumtheil Kohlenoxyd die Hälfte.

Da die Gesammtmenge der Gase sich beim Aufsteigen im Ofen verändert, die Menge des Stickstoffs dagegen annähernd unverändert bleibt, bezieht man am geeignetsten die Ziffern für den an verschiedenen Stellen des Ofens gefundenen Sauerstoff auf 100 Raumtheile Stickstoff. Zum Beispiel:

An irgend einer Stelle des Ofens möge die Zusammensetzung des Gasgemenges folgende sein: 58,80 Raumtheile Stickstoff, 11,20 Raumtheile Kohlensäure, 25,30 Raumtheile Kohlenoxyd, 3,60 Raumtheile Wasserstoff, 0,90 Raumtheile Kohlenwasserstoff (CH_4). Der Wasserstoffgehalt entstammt, sofern er in höher gelegenen Theilen des Ofens gefunden wurde, jedenfalls zum Theil dem Brennstoffe; eine Bestimmung des Wasserstoffs über den Formen lässt erkennen, wie viel durch den Gebläsewind zugeführt wurde. In dem vorliegenden Falle möge der Wasserstoffgehalt der Gase über den Formen 0,70 Raumtheile betragen haben; diese entsprechen alsdann 0,35 Raumtheilen im Wasserdampfe der Gebläseluft eingeführten Sauerstoffs. Mit jenen 58,80 Raumtheilen Stickstoff gelangten $\frac{26,5}{100} \times 58,80 = 15,58$ Raum-

theile freier Sauerstoff in den Ofen; also Gesammtmenge des von aussen herzugeführten Sauerstoffs 15,58 + 0,35 = 15,93 Raumtheile. In den Gasen findet sich:

Sauerstoff der Kohlensäure		11,20 Raumtheile
„ des Kohlenoxyds $^1/_2 \times 25{,}30$		12,65 „
Gesammter Sauerstoffgehalt der Gase	. .	23,85 Raumtheile.

Aus der Beschickung stammen also 23,85 — 15,93 = 7,92 Raumtheile, oder auf 100 Raumtheile Stickstoff bezogen

$$\frac{7{,}92}{58{,}80} \times 100 = 13{,}48 \text{ Raumtheile.}$$

Wie erwähnt, würde eine genaue Ermittelung, ob dieser aus der Beschickung stammende Sauerstoff durch Reduction der Erze oder durch Zerlegung von Carbonaten und Brennstoffen in den Gasstrom geführt sei, durch Untersuchung der Schmelzmaterialien zu erreichen sein; der Ort, an welchem die Gase entnommen wurden, sowie die ursprüngliche Zusammensetzung der Beschickung lassen jedoch immerhin schon einige Schlussfolgerungen zu.

Fernere Aufschlüsse erhält man durch Berechnung des in der Kohlensäure und im Kohlenoxyd auftretenden Kohlenstoffgehaltes der Gase, wiederum bezogen auf 100 Raumtheile anwesenden Stickstoffs. 1 Raumtheil Kohlensäure enthält $^1/_2$ Raumtheil Kohlenstoffdampf, 1 Raumtheil Kohlenoxyd ebenso viel. Jenes Gasgemenge mit 58,80 Raumtheilen Stickstoff, 11,20 Raumtheilen Kohlensäure, 25,30 Raumtheilen Kohlenoxyd enthält demnach Kohlenstoff (in Gasform): $^1/_2$ (11,20 + 25,30) = 18,25, oder auf 100 Raumtheile Stickstoff 31,03 Raumtheile.

Zeigt sich nun bei der Vergleichung des Kohlenstoffgehaltes der Gase in verschiedenen Ofenzonen eine Zunahme während des Aufsteigens der Gase, so weist diese hin entweder auf stattgehabte Reduction der Erze durch Kohle oder auf Vergasung von Kohlenstoff durch vorhandene Kohlensäure, ein Vorgang, welcher hinsichtlich seines Einflusses auf den Brennstoffverbrauch im Ofen jenem sehr ähnlich ist, oder auf stattgehabte Zerlegung von Carbonaten. Eine Abnahme des Kohlenstoffgehalts dagegen würde in dem oberen Theile des Ofens auf ein Zerfallen von Kohlenoxyd unter Ablagerung von Kohlenstoff oder auch — bei Anwendung gebrannten Kalksteins oder gerösteter kalkspathhaltiger Erze — auf eine Bindung der Kohlensäure durch das Calciumoxyd der Beschickung hindeuten. In dem unteren Theile des Ofens dagegen würde eine Abnahme des Kohlenstoffgehaltes zu berechtigten Zweifeln an der Richtigkeit der Ermittelung der durchschnittlichen Zusammensetzung des Gasgemenges innerhalb des Ofenquerschnitts Veranlassung geben; denn die Menge der kohlenhaltigen Gase, welche etwa von den schmelzenden Massen gelöst und solcherart dem Gasgemenge entzogen werden, oder die Menge des Kohlenstoffs, welcher aus den Gasen an Roheisen abgegeben werden kann, ist zu unbedeutend, um in dieser Weise erkennbar zu werden.

Jene aus dem Kohlenstoffgehalte der Gase sich ergebenden Schlussfolgerungen erhalten eine weitere Ausdehnung durch Ermittelung des Verhältnisses zwischen dem Kohlensäure- und Kohlenoxydgehalte. Durch die Verbrennung der Kohle mit atmosphärischem

Sauerstoff vor den Formen entsteht, wie durch sämmtliche vorliegende Gasanalysen nachgewiesen wird und wie aus früher erörterten Gründen leicht erklärlich ist, nur Kohlenoxyd, und die an einzelnen Stellen des Ofenquerschnitts in der Formgegend vielleicht nachgewiesene Kohlensäure verschwindet um so rascher, je stärker erhitzt der Wind und je leichter verbrennlich der Brennstoff ist. Bei regelrechtem Verlaufe des Betriebes aber muss das Verhältniss der Kohlensäure zum Kohlenoxyd in dem Gasstrome um so grösser werden, je mehr die Gase sich der Gicht nähern, theils wegen der stattfindenden Reduction der Erze durch Kohlenoxyd, theils — bei kohlensäurehaltiger Beschickung — infolge der stattfindenden Zerlegung von Carbonaten; auch jenes schon erwähnte Zerfallen von Kohlenoxyd in sich ablagernden Kohlenstoff und Kohlensäure in der Nähe der Gicht kann die Ursache einer Zunahme dieses Verhältnisses sein. Tritt der umgekehrte Fall ein, eine Abnahme des Kohlensäuregehaltes unter Zunahme des Kohlenoxydgehaltes, so darf man mit Sicherheit auf stattfindende Reduction der Erze durch Kohle oder Vergasung von Kohlenstoff durch vorhandene Kohlensäure schliessen.

Der Wasserstoffgehalt der Gase stammt, wie schon erwähnt wurde, theils aus der Feuchtigkeit der Gebläseluft, theils aus dem Wasserstoffgehalte der Brennstoffe. Ersterer entsteht in unmittelbarer Nähe der Formen; tritt also beim Aufsteigen der Gase eine Anreicherung ein, so lässt diese auf die zweite Ursache schliessen. Kleine Abminderungen des Wasserstoffgehaltes würden in einzelnen Fällen auf stattgehabte Reduction durch Wasserstoffgas schliessen lassen.

Kohlenwasserstoffe entstehen aus der Zerlegung kohlenwasserstoffhaltiger Brennstoffe. Auch verkohlte Brennstoffe können noch Kohlenwasserstoffe entlassen; bedeutender ist ihre Menge bei Verwendung roher oder unvollständig verkohlter Brennstoffe. Rinman erhielt bei der Erhitzung von Holzkohle auf 800° C. ein Gasgemisch, welches 20,4 Hunderttheile CH_4 enthielt; ebenso fand Bunsen in den aus Holzkohlen durch einfache Erhitzung entwickelten Gasen 11—21 Hunderttheile CH_4. Luftgas aus Holzkohlen enthielt nach Rinman auf 100 Theile Stickstoff 0,5 Theile Kohlenwasserstoff.[1]) In den Hochofengasen findet sich leichtes Kohlenwasserstoffgas (CH_4), sofern der Hochofen mit verkohlten Brennstoffen betrieben wurde, in Mengen bis zu etwa 3 Hunderttheilen, bei Anwendung roher Brennstoffe mitunter bis zu 8 Hunderttheilen oder etwas darüber und zwar, wie sich von selbst versteht, vorwiegend in der oberen Hälfte des Ofens. Dass schweres Kohlenwasserstoffgas (CH_2) überhaupt nur in Oefen, welche rohe Brennstoffe erhalten, gefunden werde und sich rasch zersetze, wurde schon früher erwähnt.

Beispiele. Schöffel untersuchte 1871 und 1872 die Gase eines mit Holzkohlen betriebenen Hochofens zu Eisenerz.[2]) Die Höhe des ganzen Ofens war 13,3 m, die Höhe des unteren Theiles bis zum Kohlensack 3,8 m, des oberen Theils 9,5 m; Durchmesser unten 1,5 m, im Kohlensack 2,6 m, in der Gicht 1,7 m, innerer Durchmesser des ein-

1) Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abtheilung II, Seite 281.
2) Jahrbuch der österreichischen Bergakademieen, Band XXI, Seite 188.

gehängten Gichtcylinders (Pfortschen Gasfanges) 0,9 m; Rauminhalt des ganzen Hochofens 35 cbm. Durch vier Windformen erhielt der Ofen in der Minute 35 cbm Wind. Die Beschickung bestand aus gerösteten Spatheisenerzen mit etwa 50 Hunderttheilen Roheisenausbringen nebst 7½ Hunderttheilen ihres Gewichtes Zuschlagsthonschiefer und 2 Hunderttheilen sogenannten Wascheisens (Eisenkörner aus den Schlacken, welche auf diese Weise wieder zu Gute gemacht werden). Das Erz enthielt noch 12 Hunderttheile Kohlensäure, welche erst im Ofen ausgetrieben werden musste; unmittelbar aus den Röstöfen, also noch heiss, wurden die Erze in die Hochofengicht eingeschüttet, und aus diesem Grunde erreichte die Gichttemperatur nahezu 500° C., war also ausnahmsweise hoch. Der Ofen lieferte in 24 Stunden 18,5 Tonnen weisses Roheisen nebst etwa 13,5 Tonnen Schlacken und gebrauchte zur Darstellung von 100 kg Roheisen nur etwa 75 kg Holzkohlen. Die Durchsetzzeit für die Beschickung betrug nur etwa 7 Stunden.

Die Gasanalysen lieferten folgende Ergebnisse[1]:

Tiefe der Entziehungsstelle unterhalb der Gicht	Kohlensäure	Kohlenoxyd	Leichtes Kohlenwasserstoffgas	Wasserstoff	Stickstoff	Auf 100 Raumtheile Stickstoff: Sauerstoff aus der Beschickung	Auf 100 Raumtheile Stickstoff: Kohlenstoff (gasförmig)	Verhältniss $\frac{CO_2}{CO}$
	Raumtheile					Raumtheile		
Gicht	13,96	24,44	0,34	4,85	55,42	19,5	34,6	0,57
4,4 m (8,3 m über der Form)	14,64	26,30	—	8,20	50,86	26,7	40,2	0,55
5,7 „ (7,0 „ „ „ „)	12,67	25,99	0,93	6,90	53,15	24,1	36,3	0,49
9,1 „ (3,6 „ „ „ „)	12,78	28,57	0,20	2,84	56,23	20,3	36,8	0,44
10,1 „ (2,6 „ „ „ „)	12,07	29,33	0,03	2,78	56,55	19,5	36,7	0,41
10,7 „ (2,0 „ „ „ „)	7,92	29,01	—	2,31	60,76	9,2	30,4	0,27
Formengegend	2,07	33,72	0,06	1,39	62,63	2,7	28,5	0,06

Betrachtet man zunächst die Veränderungen des Sauerstoffgehaltes aus der Beschickung[2], so zeigt sich, wie es dem Verlaufe des Schmelzens entspricht, eine stetige Zunahme von den Formen an aufwärts bis zur Höhe von 4,4 m unter der Gicht, und zugleich lässt ein Vergleich der einzelnen Ziffern erkennen, dass diese Zunahme von den Formen an bis zu der Höhe von 10,1 m unter der Gicht (ungefähr der Gegend des Kohlensackes) rasch, von da an allmählich stattgefunden hat. Die Reduction ging also vorzugsweise in dem unteren Theile des Hochofens vor sich, ein Umstand, welcher durch gleichzeitig vorgenommene Untersuchung der Erze aus diesem unteren Theile bestätigt wurde und seine ausreichende Erklärung in dem raschen Verlaufe des Schmelzens (der kurzen Durchsetzzeit) findet. Auffällig dagegen muss die Sauerstoffabnahme an der Gicht erscheinen, welche,

1) Wo in der angegebenen Quelle mehrere Bestimmungen angeführt sind, wurden die Durchschnittsziffern angenommen; einzelne der zahlreichen Bestimmungen, deren Zuverlässigkeit etwas zweifelhaft erschien (8 m und 8,8 m unter der Gicht), wurden ganz ausgelassen.

2) Bei der Berechnung des Sauerstoffgehaltes wurde angenommen, dass der Wasserstoffgehalt in der Formgegend von der Feuchtigkeit des Gebläsewindes herrühre, die Anreicherung des Wasserstoffgehaltes beim Aufsteigen der Gase dagegen aus dem Wasserstoffgehalte der Holzkohlen abzuleiten sei.

wie man sieht, mit einer Kohlenstoffabnahme Hand in Hand geht. Theilweise lässt sich dieser Umstand vielleicht auf eine Aufnahme von Kohlensäure durch den Kalkgehalt der gerösteten Erze zurückführen, zum grösseren Theile aber dürfte er auf einer Entmischung des Gasstromes, befördert durch die unterhalb der Gicht stattgehabte Entziehung eines Theiles der Gase, beruhen. Jedenfalls deutet die Zusammensetzung der Gase an der Gicht darauf hin, dass eine Reduction der Erze in diesem oberen Theile des Ofens noch nicht stattgefunden hat.

Der Kohlenstoffgehalt der Gase steigt von der Formgegend an aufwärts bis zur Höhe von 10,1 m (Kohlensack), welcher Umstand theils durch die Zersetzung des Restes von Carbonaten erklärt wird[1]), zugleich aber auch auf wenigstens theilweise Reduction der Erze durch Kohle oder Vergasung von Kohle durch Kohlensäure hinweist. Dass jedoch neben der Reduction durch Kohle auch die Reduction durch Kohlenoxyd noch eine bedeutende Rolle in diesem unteren Theile des Ofens spielt, und dass nicht alle aus der Reduction durch Kohlenoxyd oder aus dem Zerfallen der Carbonate hervorgegangene Kohlensäure wieder zu Kohlenoxyd reducirt wird, beweist die starke Zunahme des Verhältnisses $\frac{CO_2}{CO}$ in eben derselben Gegend.

Von da an bis 5,7 m unter der Gicht bleibt der Kohlenstoffgehalt der Gase annähernd unverändert, während das Verhältniss $\frac{CO_2}{CO}$ allmählich zunimmt, ein Beweis, dass in dieser Zone des Ofens die Reduction durch Kohlenoxyd vorherrschte, wenn auch ihr Maass nicht bedeutend war. Die stärkere Zunahme des Kohlenstoffgehaltes in dem Raume bis 4,4 m unterhalb der Gicht dürfte auf eine Austreibung des ersten Theiles der in den aufgegichteten Erzen vorhandenen Kohlensäure zurückzuführen sein; auch die fernere Steigerung des Verhältnisses $\frac{CO_2}{CO}$ deutet hierauf hin. Die muthmaasslichen Ursachen der Abnahme des Kohlenstoffgehaltes an der Gicht wurden bereits erörtert.

Als ein Beispiel, wie abweichend die Zusammensetzung der Gase an den Wänden und in der Mitte des Ofens zu sein pflegt, mögen die folgenden von Rinman mitgetheilten Ergebnisse dienen, welche bei einem mit gerösteten Magneteisenerzen betriebenen schwedischen Holzkohlenhochofen von 12,02 m Höhe von der Form bis zur Gicht erhalten wurden.[2])

Höhe über der Form	An den Wänden					In der Mitte				
	N	CO_2	CO	H	CH_4	N	CO_2	CO	H	CH_4
	Raumtheile					Raumtheile				
10,09	58,80	11,20	25,50	3,60	0,90	—	—	—	—	—
6,97	61,90	4,90	30,75	2,45	—	61,00	8,75	26,65	3,50	0,10
4,38	65,45	1,10	32,35	1,10	—	—	—	—	—	—
2,15	68,80	4,20	26,30	0,70	—	64,05	2,35	33,05	0,55	—

1) In den Erzen wurden in der Höhe von 10,7 m unter der Gicht noch 5 Hunderttheile Kohlensäure gefunden.

2) Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abtheilung II, Seite 226.

Ermittelt man aus diesen Ziffern wiederum den aus der Beschickung aufgenommenen Sauerstoff, den Kohlenstoffgehalt und das Verhältniss $\frac{CO_2}{CO}$, so erhält man als Durchschnittswerthe:

Höhe über der Form	Sauerstoff aus der Beschickung (Raumtheile)	Kohlenstoff gasförmig (Raumtheile)	Verhältniss $\frac{CO_2}{CO}$
10,09 m	14,2	31,2	0,44
6,97 „	8,0	28,9	0,24
4,38 „	0,0	25,5	0,03
2,15 „	0,8	24,4	0,18

Die Ziffern lassen grosse Abweichungen in dem Schmelzgange des Ofens im Vergleiche mit dem des oben besprochenen Ofens zu Eisenerz erkennen. Der Sauerstoffgehalt der Gase findet hier erst in einer Höhe von fast 7 m über den Formen, also etwas oberhalb der Mitte der ganzen Ofenhöhe eine wesentliche Anreicherung, ein Beweis, dass die Reduction zum grossen Theile in der oberen Hälfte dieses Ofens vor sich geht. Dieser Umstand findet seine Erklärung in dem weit langsameren Verlaufe des Schmelzganges. Wie nämlich aus den a. a. O. gemachten Mittheilungen (3 Windformen von 50 mm Durchmesser, Windspannung 43 mm Quecksilbersäule, Windtemperatur 75° C.) hervorgeht, erhielt der Ofen in der Minute höchstens 20 cbm Wind, also etwa halb so viel als der Eisenerzer Ofen, während der räumliche Inhalt beider Oefen annähernd gleich, das Verhältniss des Erzsatzes zum Brennstoff aber in dem Eisenerzer Ofen etwas höher war als in dem schwedischen. Die Durchsetzzeit der Erze war also erheblich länger, die Gichttemperatur, über welche leider keine Angaben vorliegen, vermuthlich hoch.

Die Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlenoxyd durch den Gebläsewind verlief ziemlich langsam, wie aus der anfänglichen Abnahme des Verhältnisses $\frac{CO_2}{CO}$ zu ersehen ist und aus der niedrigen Temperatur des Gebläsewindes sich erklärt; dann aber tritt, wie es aus der in der Höhe von 4,38 m beginnenden Zunahme jenes Verhältnisses sich schliessen lässt, Reduction der Erze durch Kohlenoxyd ein und neben dieser auch theilweise Reduction durch Kohle oder Vergasung von Kohlenstoff durch die entstehende Kohlensäure (daher Anreicherung des Kohlenstoffgehaltes in den Gasen).

Obgleich die gegebenen Beispiele einer schon mehrere Jahrzehnte zurückliegenden Zeit entstammen, und obgleich die Betriebsverhältnisse der Hochöfen, deren Gase man untersuchte, ziemlich abweichend von den Betriebsverhältnissen der meisten jetzigen Hochöfen waren, können die Beispiele immerhin als Beweise dienen, dass die Zusammensetzung der Hochofengase gewissermaassen einen Spiegel bildet, in welchem die Vorgänge im Innern mit ziemlicher Deutlichkeit erkennbar sind.

Dass ein Hochofengang, bei welchem alles entwickelte Kohlenoxyd zur Reduction der Erze verbraucht sei, die Gichtgase demnach frei von Kohlenoxyd wären, überhaupt unmöglich ist, ergiebt sich aus

der früher besprochenen Thatsache (Seite 265), dass bei der Reduction durch Kohlenoxyd metallisches Eisen nur bei reichlichem Ueberschusse des Reductionsmittel entstehen kann. Dennoch kennzeichnet das gegenseitige Verhältniss, in welchem Kohlensäure und Kohlenoxyd in den Gichtgasen sich befinden, in gewisser Weise die mehr oder minder günstige Ausnutzung des Brennstoffs im Hochofen. Denn da zur Durchführung des Schmelzens, d. h. zur Darstellung einer bestimmten Menge Roheisen auch eine bestimmte Wärmemenge erforderlich ist, die Wärmeentwickelung aber bei der Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlenoxyd erheblich geringer sich beziffert als bei der Verbrennung zu Kohlensäure, wird immerhin für die Erzeugung jener Wärmemenge ein um so grösserer Brennstoffaufwand nothwendig sein, je grösser das Verhältniss des in den Gichtgasen noch anwesenden Kohlenoxydes zu der Kohlensäure ist. In naher Beziehung hierzu steht die schon erwähnte Thatsache, dass jede Reduction von Kohlensäure durch Vergasung von Kohle in den oberhalb des Verbrennungsraums gelegenen Ofentheilen mit einem Verluste dieser Kohle gleichbedeutend ist, sowie ferner der Mehrverbrauch an Kohle bei Reduction durch Kohle gegenüber der Reduction durch Kohlenoxyd. In beiden Fällen, bei Vergasung festen Kohlenstoffs durch Kohlensäure wie bei vermehrter Reduction durch Kohle, wird der Brennstoffaufwand zur Darstellung einer bestimmten Roheisenmenge grösser, das Verhältniss der Kohlensäure zum Kohlenoxyd in den Gichtgasen geringer. Je niedriger demnach der zur Erzeugung einer bestimmten Menge Roheisen erforderliche Brennstoffverbrauch war, desto höher wird im Allgemeinen das Verhältniss $\frac{CO_2}{CO}$ in den Gichtgasen ausfallen. Jener Brennstoffverbrauch aber ist durch mehrfache Einflüsse bedingt. Reducirbarkeit und Eisengehalt der Erze, Beschaffenheit des erfolgenden Roheisens sind in erster Reihe hierbei maassgebend. Falsch würde es daher sein, wenn man jenes Verhältniss $\frac{CO_2}{CO}$ ohne Weiteres als Maassstab benutzen wollte, um darnach die Betriebsweise zweier unter verschiedenen Verhältnissen arbeitender Hochöfen zu vergleichen.

b) Einfluss der Winderhitzung auf die Vorgänge im Hochofen.

Nachdem auf Neilsons Vorschlag die Anwendung erwärmten Windes zuerst in Schottland versucht worden war, zeigte sich bald, dass schon eine mässige Erwärmung ausreichend sei, eine nicht unwesentliche Ersparung an Brennstoff und Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Ofens zu erzielen. Diese günstige Einwirkung wuchs, als man durch Verbesserung der Winderhitzer sich befähigt sah, höhere Windtemperaturen als im Anfange hervorzubringen; aber gleichzeitig beobachtete man, dass die Eigenschaften des erfolgenden Roheisens andere wurden, wenn man mit erhitztem als wenn man mit kaltem Winde arbeitete. Erst nachdem man gelernt hatte, theils durch passende Aenderung der Beschickung jenen Einflüssen auf die Beschaffenheit des Roheisens entgegen zu wirken, theils das erfolgende Roheisen

seiner geänderten Beschaffenheit gemäss zu verwenden[1]), verstummten die Gegner der Anwendung heissen Windes, welche — ziemlich beträchtlich an Zahl — in der vermeintlichen, durch die Winderhitzung hervorgerufenen Verschlechterung des Roheisens einen grösseren Nachtheil zu sehen glaubten, als durch den erreichbaren Nutzen ausgeglichen werden könne.

Als man nun später anfing, den Einfluss des heissen Windes wissenschaftlich zu untersuchen, ergab sich in zahlreichen Fällen die überraschende Thatsache, dass durch die Erwärmung des Windes nicht unerheblich mehr Brennstoff erspart werde, als zur Erzeugung der vom Winde mitgebrachten Wärme erforderlich gewesen sein würde; ausserdem liess sich ziemlich regelmässig die Beobachtung machen, dass die Gicht des Hochofens um so kühler wurde, je stärker man den Wind erhitzte.

Beide Warnehmungen stehen in naher Beziehung zu einander und finden unschwer ihre Erklärung. Der Hochofen bedarf für jedes Kilogramm darzustellenden Roheisens einer gewissen Wärmemenge, und die Erzeugung dieser Wärmemenge ist, wie schon erwähnt wurde, der erste Zweck der Verbrennung von Kohle durch eingeblasene Luft. Jedes Kilogramm der zu diesem Zwecke verbrannten Kohle liefert eine bestimmte Gasmenge, welche im Ofen emporsteigt. Wenn nun aber ein Theil jener erforderlichen Wärme, statt durch Verbrennung von Kohle erzeugt zu werden, durch den erwärmten Gebläsewind von aussen zugeführt wird, muss offenbar die entstehende Gasmenge um ebenso viel geringer ausfallen, als jener Ersparung an Brennstoff entspricht; die geringere Menge Gase aber giebt ihre Wärme rascher und vollständiger an die entgegenrückenden festen Körper ab als die grössere Menge Gase bei kaltem Winde; die Wärme wird also günstiger ausgenutzt als in letzterem Falle, und hierdurch wird eine zweite Menge Brennstoff gespart; die Folge davon ist aber, dass die Gase in abgekühlterem Zustande den Ofen veranlassen. Die Gichttemperatur sinkt.

Nun würde aber in den meisten Fällen eine allzu langsame Bewegung des Gasstromes im Ofen jenen früher erwähnten Nachtheil, eine vermehrte Vergasung von Kohle durch gebildete Kohlensäure, zur Folge haben, obgleich die raschere Abkühlung der aufsteigenden Gase ohnehin diese Gefahr vermindert. Hieraus ergiebt sich dann von selbst die Veranlassung zu einer Beschleunigung des Betriebes, und die Erzeugung des Hochofens in den gleichen Zeiträumen wird grösser.

Durch die Zuführung der Wärme von aussen, welche bei der Ver-

1) So z. B. erwies sich das bei heissem Winde erzeugte Roheisen für die unmittelbare Herstellung von Gusswaaren aus dem Hochofen oft als weniger brauchbar, da es siliciumreicher war und stärker zur Gaarschaumbildung neigte, als das bei kaltem Winde erblasene. Auch war seine Festigkeit etwas geringer. Der erstgenannte Uebelstand lässt sich durch die Wahl einer geeigneten Beschickung und durch Regelung des Schmelzganges beseitigen; wo man aber das Verfahren des unmittelbaren Gusses aufgab, und das Roheisen demnach wieder umschmolz, erhielt man bei heissem Winde ein für diese Betriebsweise unleugbar besser geeignetes Roheisen als bei kaltem Winde. Auch die beobachtete Abminderung der Festigkeit des Roheisens lässt sich durch die erwähnten Mittel auf ein geringeres Maass zurückführen; und in keinem Falle ist sie so erheblich, dass sie in gewöhnlichen Fällen eine triftige Veranlassung bilden könnte, auf die Vortheile der Anwendung erhitzten Windes zu verzichten.

brennung nutzbar gemacht wird, steigt bei Anwendung erhitzten Windes die Verbrennungstemperatur vor den Formen (vergl. Seite 50); durch die höhere Temperatur wird die Verwandtschaft des Kohlenstoffs zum Sauerstoff gesteigert, und rascher als bei dem Betriebe mit kaltem Winde geht die Verbrennung vor sich, d. h. verschwinden der freie Sauerstoff wie die vielleicht augenblicklich gebildete Kohlensäure. Die Wärmeentwicklung wird, wie man sich auszudrücken pflegt, bei Anwendung heissen Windes auf einen kleineren Raum im Ofen beschränkt.

Jene höhere Temperatur vor den Formen aber sinkt theils aus den schon erörterten Gründen, theils wegen eben dieser Einengung der Verbrennung auf einen kleineren Raum rascher als bei dem Betriebe mit kaltem Winde. Die für den Verlauf des Schmelzganges und die Ausnutzung des Brennstoffs so nachtheilige Entstehung von Oberfeuer (Aufsteigen der Schmelztemperatur nach oben) wird also durch Anwendung heissen Windes auf seltenere Fälle beschränkt. Anderntheils aber kann unter Umständen, z. B. bei einem Hochofen, welcher wasserreiche Erze schmelzt und demzufolge eine kühle Gicht besitzt, durch die Erniedrigung der Gichttemperatur auch die Vorbereitung der Erze in dem oberen Theile des Ofens verzögert werden; die Reduction beginnt später und die Reduction durch Kohlenoxyd kann hierdurch eingeschränkt werden. Je weniger hoch der Ofen ist, je weniger lange mithin die Erze der Einwirkung des Gasstromes ausgesetzt bleiben, desto leichter werden die Folgen hiervon bemerkbar werden.

Jene Verbrennung von Kohlenstoff vor den Formen hat aber neben der Erzeugung von Wärme noch den andern nicht minder wichtigen Zweck, das als Reductionsmaterial erforderliche Kohlenoxyd zu liefern. Wird durch Erwärmung des Gebläsewindes ein Theil jenes Kohlenstoffs erspart, so verringert sich dadurch auch die Menge des entstehenden Kohlenoxydes; bei weiterer Verringerung des Brennstoffs muss also eine Grenze erreicht werden, wo die Menge des vor den Formen entstehenden Kohlenoxydes nicht mehr ausreichend ist, die Reduction durchzuführen, und wo demnach Reduction durch Kohle, gleichbedeutend mit einem erhöhten Wärmeverbrauche, an deren Stelle tritt. Je weniger Brennstoff schon bei kaltem Winde zur Durchführung des Schmelzens, d. h. zur Darstellung einer bestimmten Menge Roheisen, erforderlich war, desto früher wird jener Zeitpunkt eintreten; bei einer leicht reducirbaren Beschickung also früher als bei einer schwer reducirbaren; bei Darstellung von gewöhnlichem silicium- und manganarmem Weisseisen früher als bei Darstellung von Graueisen oder manganreichem Roheisen, bei welchen Roheisensorten die Reduction von Silicium oder Mangan durch Kohle ohnehin einen grösseren Aufwand von Kohle und Wärme nothwendig macht als bei jenen.

Die Vortheile der oben erwähnten Beschränkung des Verbrennungsvorganges auf einen kleineren Raum werden aber um so deutlicher hervortreten, je schwerer verbrennlich der angewendete Brennstoff ist; bei Anthraziten mehr als bei Koks, bei diesen mehr als bei Holzkohlen.

Aus allem Gesagten folgt, dass die Grenze der Windtemperatur, über welche hinaus eine fernere Steigerung aufhört, Nutzen zu bringen, unter Umständen sogar nachtheilig wirkt, um so tiefer liegt,

je kleiner der Ofen ist;
je leichter reducirbar die Erze sind;
je weniger silicium- oder manganreich das erfolgende Roheisen werden soll;
je leichter verbrennlich der Brennstoff ist.

Die Beobachtungen des Betriebes bestätigen im Wesentlichen diese Schlussfolgerungen. Während bei grossen mit Koks (Steinkohlen, Anthraziten) gespeisten Hochöfen, welche graues oder manganreiches Roheisen erzeugen, selbst mit einer, nur in steinernen Winderhitzern erreichbaren Windtemperatur von 800° C. die Grenze des Zweckmässigen noch nicht überschritten, bei Verhüttung weniger leicht reducirbarer Erze vermuthlich noch nicht einmal erreicht ist, pflegt bei Weisseisendarstellung in denselben Oefen eine Steigerung der Windtemperatur über 400—500° C. hinaus wenig Nutzen zu bringen und sogar die Entstehung des eigentlichen graphitfreien Weisseisens zu erschweren, da in der höheren Temperatur vor den Formen leichter Silicium reducirt wird. Beim Betriebe mit Holzkohlen in weniger grossen Oefen geht man auch bei Graueisendarstellung mit der Erhitzung des Windes selten über 400—500° C. hinaus, und bei Weisseisendarstellung aus leicht reducirbaren Erzen mit Holzkohlen ist schon bei 300° C. die Grenze des Zweckmässigen bisweilen erreicht.[1])

Ich selbst machte bei dem Betriebe eines sehr kleinen, mit Rasenerzen (also leicht reducirbaren wasserreichen Erzen) auf graues Roheisen betriebenen Holzkohlenhochofens die Beobachtung, dass eine Steigerung der Windtemperatur über 300° C. hinaus vollständig nutzlos blieb, weder eine Steigerung der Roheisenerzeugung noch eine Verringerung des Brennstoffverbrauchs zur Folge hatte, und nach mehrwöchentlichem Betriebe mit hocherhitztem Winde sah man aus diesem Grunde davon ab, den Wind stärker als auf die angegebene Temperatur zu erhitzen.

Auch auf die chemische Beschaffenheit des erfolgenden Roheisens, welche mit seinen physikalischen Eigenschaften in so naher Beziehung steht, werden beachtenswerthe Einflüsse durch die Erhitzung des Windes ausgeübt. Wie erwähnt, steigt die Temperatur vor den Formen und die nächste Folge hiervon ist ein gesteigertes Vereinigungsbestreben des Kohlenstoffs zum Sauerstoff; eben hierdurch aber wird die Reduction von Silicium und Mangan befördert. Dieser Umstand bildet eine zweite Ursache, weshalb eine hoch getriebene Winderhitzung gerade für Darstellung silicium- oder manganreicher Roheisensorten förderlich ist, während umgekehrt die stärkere Anreicherung dieser Körper in solchem Roheisen, welches unmittelbar aus dem Hochofen, ohne umgeschmolzen zu werden, zu Gusswaaren verarbeitet werden soll, Jahrzehnte hindurch den Haupteinwand gegen die Anwendung erhitzten Windes bildete. Durch Verhüttung kieselsäureärmerer oder manganärmerer Beschickungen lässt sich jenen Einflüssen der Winderhitzung entgegenwirken; aber auch bei dem Betriebe auf gewöhnliches Weisseisen zeigt sich, wie schon erwähnt wurde, leichter die Neigung des

1) Vergl. Jahrbuch der österreichischen Bergakademieen, Band XXI, Seite 357 (Tunner).

gebildeten Roheisens, durch Siliciumaufnahme grau zu werden, wenn man den Hochofen mit übermässig erhitztem Winde betreibt. Ein besonders kräftiges Reductionsmittel für Silicium bildet aber der im flüssigen Roheisen enthaltene Kohlenstoff; daher erklärt es sich, dass bei heissem Winde erblasenes Roheisen häufig kohlenstoffärmer ist als bei kaltem Winde erblasenes. Nachfolgende Analysen [1]) zweier Roheisensorten, welche mit Holzkohlen in demselben Ofen (Ilsenburg) aus den gleichen Erzen, das eine mit heissem Winde, das andere mit kaltem Winde, erblasen wurden, lassen den Unterschied erkennen.

	bei heissem Winde erblasen	bei kaltem Winde erblasen
Kohlenstoff	4,063	4,363
Silicium	1,168	0,635
Mangan	0,382	0,298
Phosphor	0,545	0,559
Schwefel	0,031	0,034
Kupfer	0,016	0,023
Chrom	0,034	0,030
Arsen	Spur	0,000
Antimon	0,050	0,031
Vanadium	0,011	0,022

c) Einfluss der Windpressung und Windmenge.

Zur Erlangung eines befriedigenden Schmelzganges des Hochofens ist eine bestimmte Windpressung (Spannung) erforderlich, deren Maass vornehmlich von den Abmessungen des Ofens und der Beschaffenheit des Brennstoffs abhängt.

Mit der durch das Manometer messbaren Windpressung wächst die Geschwindigkeit und mit dieser die lebendige Kraft des Windes. Durch stärkere Pressung wird demnach der Wind befähigt, die Widerstände, welche sich seinem Vordringen zwischen den Stücken des Brennmaterials hindurch entgegenstellen, erfolgreicher zu überwinden und weiter im Ofen vorzudringen. Die Sauerstofftheilchen prallen mit grösserer lebendiger Kraft gegen die Kohlenstücke an und treten in innigere Berührung mit diesen; die Verbrennung zu Kohlenoxyd wird beschleunigt, die Verbrennung auf einen kleineren Raum zusammengedrängt. In dieser Beziehung wirkt mithin stark gepresster Wind ähnlich wie erhitzter Wind; je dichter, d. i. schwerer verbrennlich, der Brennstoff ist, desto höhere Pressung ist von Nutzen.

Durch das stärkere Vordringen im Ofen aber wird innerhalb des Ofenquerschnitts eine gleichmässigere Verbrennung erzielt; es wird verhütet, dass diese vorzugsweise in der Nähe der Ofenwände stattfinde und die Mitte des Ofens davon unberührt bleibe. Infolge davon werden die in der Mitte niederrückenden Erze besser als bei zu schwacher Pressung erwärmt und reducirt, das Maass der Reduction durch Kohlenoxyd wird ausgedehnt. Hierdurch kann früheren Erörterungen zufolge Brennstoff gespart werden.

Die Pressung muss demnach im Allgemeinen mit dem Durchmesser des Ofens in der Formenebene wachsen. Dass bei weiten Gestellen das Vordringen des Windes bis zur Ofenmitte durch Vorschieben der

1) Vom Verfasser ausgeführt.

Windformen erleichtert werden könne, wurde auf Seite 387 hervorgehoben.

Eine übermässig gesteigerte Windpressung kann dagegen Stauungen der eintretenden Windströme herbeiführen, hierdurch die Windvertheilung ungleichmässiger gestalten und die Leistung des Gebläses beeinträchtigen.

Die messbare Windpressung ist aber nicht allein von der Windgeschwindigkeit, sondern auch von der im Hochofen herrschenden Gasspannung abhängig. Mit der letzteren muss die Windpressung wachsen, damit der eintretende Wind die Kraft besitze, die Gase im Ofen empor zu treiben. Die Gasspannung im Ofen aber nimmt mit dessen Höhe zu, da sie durch die Widerstände hervorgerufen wird, welche die Gase beim Durchdringen der Schmelzsäule finden. Auch die Stückgrösse der Beschickung ist hierbei von Einfluss. Je feinstückiger die Bestandtheile der Beschickung, insbesondere die Erze, sind, desto dichter liegen sie, desto grösseren Widerstand setzen sie dem Aufsteigen des Gasstromes entgegen. Hieraus folgt, dass das Maass der Windpressung auch mit der Höhe des Ofens und der Dichtigkeit der Beschickung zunehmen muss.

Erhöht man bei einem Hochofen die Windpressung, ohne den Düsenquerschnitt zu verringern, so führt man eine grössere Windmenge in den Ofen. Mehr Brennstoff wird in der Zeiteinheit verbrannt, eine grössere Wärmemenge wird erzeugt, die Erzeugung des Ofens wächst. Die Gase steigen, da ihre Menge im geraden Verhältnisse zu der Menge des verbrannten Kohlenstoffs steht, mit beschleunigter Geschwindigkeit im Ofen auf und verlassen ihn im heisseren Zustande; die Gichttemperatur steigt. Die Ausnutzung der Wärme wird hierdurch ungünstiger; unter Umständen kann aber diesem Nachtheile der grössere Vortheil gegenüber stehen, dass bei der rascheren Bewegung des Gasstromes geringere Mengen von Kohlensäure in dem oberen Theile des Ofens wieder durch Kohle reducirt werden, und dass in der höheren Temperatur die Reduction der Erze durch Kohlenoxyd erleichtert wird. Dieser Fall tritt ein, wenn zuvor der Gasstrom jene Normalgeschwindigkeit nicht besass, deren Maass, wie oben besprochen wurde, abhängig sein muss von der Reducirbarkeit der Erze und der Verbrennlichkeit der Kohlen. Steigert man dagegen mit der Windpressung auch die Windmenge über dieses Maass hinaus, so gelangen die Erze wegen allzu beschleunigten Schmelzganges ungenügend vorbereitet in den Schmelzraum und werden hier verschlackt; es tritt vermehrte Reduction durch Kohlenstoff ein, die Folge ist ein erhöhter Wärmeverbauch und eine Abkühlung des Ofens gerade in demjenigen Theile, wo hohe Temperatur nothwendig ist. Das Schmelzen geräth in's Stocken, wenn nicht Abhülfe eintritt.

Aus alle diesem folgt, dass sich theoretisch von vorn herein nicht mit Sicherheit die für einen Hochofen von gegebenen Abmessungen und Betriebsverhältnissen geeignetste Pressung und Menge des Gebläsewindes ermitteln lässt. Die Pressung muss, wie erwähnt, abhängig sein von dem Durchmesser des Ofens, seiner Höhe, der Dichtigkeit des Brennstoffs und der Beschaffenheit der Erze; sie schwankt demzufolge bei verschiedenen Oefen zwischen den auf Seite 418 mitgetheilten Grenzen. Die zugeführte Windmenge dagegen, von welcher in erster

Reihe die Erzeugung des Ofens abhängt, muss sich vornehmlich nach dem Rauminhalte des Ofens und der Reducirbarkeit der Erze richten. Je grösser der Ofen ist und je leichter reducirbar die Erze sind, desto grösser kann die zugeführte Windmenge sein.

Von der Grösse des Ofens und der Windmenge ist die Durchsetzzeit der Erze, d. h. die Zeitdauer, während welcher sie im Ofen verweilen, abhängig. Bei kleinen mit Holzkohlen und leichtreducirbaren Erzen auf Weisseisen betriebenen Hochöfen, wie sie z. B. in den österreichischen Alpen vorkommen, genügt oft eine Durchsetzzeit von nicht mehr als 6 Stunden; in grösseren Oefen dagegen, in denen mit mineralischen Brennstoffen graues Roheisen dargestellt wird, verweilen die Erze mitunter länger als 60 Stunden, und die Erfahrung hat erwiesen, dass eine Abkürzung dieser Zeit nur durch erhöhten Brennstoffaufwand für die gleiche Menge durchzusetzenden Erzes zu erreichen war.[1])

d) Gaargang und Rohgang.

Verläuft das Schmelzen in der geschilderten regelrechten Weise, so geht der Hochofen gaar; treten Störungen ein, so zeigt sich Rohgang.

Die eigentlichen Ursachen des Rohganges können verschieden sein. Unregelmässigkeiten beim Aufgichten, grosser Feuchtigkeitsgehalt der Schmelzmaterialien bei anhaltendem Regenwetter, schlechte Beschaffenheit der Brennstoffe, unrichtige Zusammensetzung der Beschickung, wodurch vorzeitige Schmelzung hervorgerufen wird, Abkühlung des Gebläsewindes, Lecken der Formen oder sonstigen wassergekühlten Theile, Ungleichmässigkeiten in dem Niederrücken der Beschickung, welche besonders häufig bei schon längere Zeit im Betriebe befindlichen Hochöfen durch deren unregelmässige Form herbeigeführt werden, allzu grosse Verlangsamung des Schmelzganges durch unrichtige Windführung sind häufig vorkommende Ursachen des Rohganges. Mitunter ist es schwierig, die wirkliche Ursache eines bestimmten Falls zu erforschen. Stets aber ist die Reduction beeinträchtigt; unvollständig reducirte Erze gelangen in reichlicherer Menge als zuvor in den Schmelzraum, um hier noch durch Kohle reducirt zu werden. Diese vermehrte Reduction durch Kohlenstoff erheischt nunmehr einen erhöhten Wärmeverbrauch; der Gleichgewichtszustand zwischen Wärmeerzeugung und Wärmeverbrauch wird gestört. Hieraus erwächst eine Abkühlung des Ofens, welche wiederum eine Zunahme des Rohganges nach sich zieht; solcherart kühlt der Ofen, wenn nicht rechtzeitig Gegenmaassregeln getroffen werden, mehr und mehr ab, und das Ende ist das sogenannte Einfrieren des Hochofens, dem Sterben belebter Wesen vergleichbar: der Schmelzraum ist mit erstarrten Massen verstopft, der Wind vermag nicht mehr durchzudringen, die Gluth erlischt, und der ganze Ofen wird kalt.

Eine Hauptsorge jeden Hochofenmanns ist es daher, die Kennzeichen des eintretenden Rohganges rechtzeitig wahrzunehmen, um geeignete Mittel zu dessen Beseitigung ergreifen zu können.

1) Oesterreichische Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 1882, Seite 479 (Bell).

Am deutlichsten pflegt die Beschaffenheit der Schlacken den beginnenden Rohgang zu verrathen. Die Reduction des Eisens ist weniger vollständig als zuvor, die entstehende Schlacke ist eisenreicher. Helle Schlacken werden dunkler, grün, zuletzt schwarz. Infolge der noch im Schmelzraume fortgesetzten Reduction von Eisen aus den Schlacken werden sie durch das hierbei entstehende Kohlenoxyd aufgebläht und zeigen sich nach dem Erstarren von Gasblasen durchsetzt, eine Erscheinung, welche besonders deutlich bei den zähen Schlacken der mit Holzkohlen auf graues Roheisen betriebenen Hochöfen hervorzutreten pflegt. Nachstehende (von mir ausgeführte) Analysen einer Gaarschlacke und einer Rohschlacke des Holzkohlenhochofens zu Zorge am Harz lassen den Unterschied in der Zusammensetzung erkennen.

	Gaarschlacke, graublau	Rohschlacke, schwarzgrün
Kieselsäure	49,30	48,62
Thonerde	12,17	10,75
Kalkerde	31,23	26,02
Magnesia	2,28	1,15
Eisenoxydul	0,79	8,59
Manganoxydul	0,95	1,47
{ Schwefel	0,19	0,06
{ Calcium	0,24	0,08
Kaliumoxyd	2,61	n. best.

Beachtenswerth ist ausser dem höheren Eisenoxydul- und Manganoxydulgehalte der Rohschlacke ihr geringerer Schwefelgehalt; in der niedrigeren Temperatur des Rohganges nahm die Schlacke weniger Schwefel auf. Die Analysen des mit diesen beiden Schlacken erfolgten Roheisens sind auf Seite 341 mitgetheilt; das bei Rohgang erfolgte ist schwefelreicher. Die gleiche Erscheinung ist fast immer bemerkbar. Die Schlackenmenge wird reichlicher, da eine grössere Menge Körper (Eisen, Mangan, Silicium) unreducirt verschlackt wird; die Schlacke selbst wird durch den grösseren Eisen- und Manganoxydulgehalt häufig dünnflüssiger, erstarrt aber gewöhnlich rasch. Nimmt jedoch die Abkühlung des Ofens zu, so bleibt auch die erfolgende Schlacke kälter und verliert dann ihre Dünnflüssigkeit. Ist man mit der äusseren Beschaffenheit (Farbe, Dünnflüssigkeit) der gaaren Schlacke eines Hochofens bei dem Betriebe auf diese oder jene Roheisensorte vertraut, so geben die bei Rohgang eintretenden Veränderungen dieser Beschaffenheit ein zuverlässiges Merkmal für den Beginn des Rohganges.

Etwas später pflegt die veränderte Beschaffenheit des erfolgenden Roheisens den eingetretenen Rohgang zu verrathen. Fremdkörper werden weniger vollständig reducirt, das Eisen wird ärmer an Silicium und Mangan. Auch der Kohlenstoffgehalt sinkt; denn die Berührung mit der im Schmelzraume anwesenden eisenreicheren Schlacke macht die Aufnahme eines reichen Kohlenstoffgehaltes unmöglich, welcher durch den Eisenoxydulgehalt der Schlacke verbrannt werden würde.[1] Ging der Ofen auf Graueisen, so erfolgt graphitärmeres Roheisen, sobald Rohgang eintritt, schliesslich grelles; wurde er auf Spiegeleisen

1) Auf Seite 178 ist diese Wechselbeziehung zwischen der Zusammensetzung der Schlacke und der des Eisens ausführlicher besprochen worden. Analysen von Roheisen derselben Hochöfen, bei verschiedenem Gange erfolgt, sind auf Seite 340 und 341 enthalten.

betrieben, so erhält man bei schwachem Rohgange Weissstrahl, bei stärkerem Rohgange Treibeisen. Schon an dem abweichenden Verhalten des fliessenden Roheisens vermag das geübte Auge die geänderte Beschaffenheit zu erkennen. Das bei Rohgang erfolgende Roheisen pflegt, da es bei niedrigerer Temperatur im Schmelzraume erfolgte, weniger stark überhitzt als das bei Gaargang erfolgende zu sein; es ist ohnehin dickflüssiger wegen seines geringern Gehaltes an Kohlenstoff, Silicium und Mangan. Daher fliesst es träge, wirft reichlich Funken und erstarrt rasch, dabei mitunter tiefe Löcher an der Oberfläche bildend.

Sieht man durch die Formen in den Ofen, so gewahrt man bei Gaargang, sobald sich das Auge an das blendende Licht gewöhnt hat, die verbrennenden Kohlen und die gleichmässig niedertropfenden flüssigen Massen. Die Weissgluth deutet auf hohe Temperatur, Ansätze an den Formen sind wenig bemerkbar und lassen sich ohne Schwierigkeit entfernen. Bei Rohgang verlieren die Formen an Helligkeit, die schmelzende Schlacke zeigt sich in unruhiger Bewegung, erzeugt durch die unter Kohlenoxydgasbildung noch vor sich gehende Reduction von Eisen. Kommt das unmittelbar über den Formen reducirte, also noch kohlenstoffarme, schwerschmelzige Eisen in Berührung mit den kälteren Ofenwandungen, insbesondere mit dem Rüssel der Formen oder sonstigen gekühlten Theilen, so setzt es sich hier als sogenanntes Frischeisen fest — es ist thatsächlich schmiedbares Eisen —, Ansätze bildend, welche, wenn sie nicht beseitigt werden, immer mehr wachsen und Veranlassung zu einer vollständigen Verstopfung des Ofens geben können. Die Beseitigung dieses zähen, fest an den Wänden haftenden Frischeisens aber ist schwieriger als die Beseitigung von entstandenen Schlackenansätzen.

Bei Oefen, welche mit Koks und hocherhitztem Winde betrieben werden, tritt diese Erscheinung weniger bemerkbar hervor als bei Holzkohlenbetrieb und weniger heissem Winde, besonders, wenn man in letzteren graues Roheisen darstellt. Eisenhüttenleute, welche noch den Betrieb mit kaltem Winde gekannt haben — ihre Zahl ist jetzt sehr gering — erinnern sich sehr wohl der ausserordentlich beschwerlichen Arbeit, welche das Losbrechen dieser Frischeisenansätze veranlasste. Schwere eiserne Stangen — Rengel — wurden unter dem Tümpel hinweg in den Ofen geführt, und durch Stossen und Drücken damit wurde das angesetzte Eisen entfernt. Seit Einführung der Winderhitzung ist auch bei Holzkohlenhochöfen die Arbeit des „Rengelns" seltener und weniger beschwerlich geworden; aber die Einrichtung der Oefen mit offener Brust verdankt, wie früher erwähnt wurde, dem Umstande ihre Entstehung, dass bei geschlossener Brust die Entfernung der Frischeisenansätze kaum möglich ist.

Auch das Aeussere der Gichtflamme lässt in den seltenen Fällen, wo der Ofen mit ganz oder theilweise offener Gicht arbeitet, meistens deutlich den Eintritt von Rohgang erkennen. Sie verliert an Lebhaftigkeit, die beim Gaargange blaue Farbe wird gelblicher, der weisse Beschlag, welcher sich an den kälteren Theilen der Gicht absetzt (der Gichtstaub), wird schwächer oder ändert auch wohl seine Farbe in's Gelbliche. Auch bei den Oefen mit geschlossener Gicht lässt das Aussehen des weissen Rauches, welcher aus den Essen der durch Gicht-

gase geheizten Winderhitzer und Dampfkesselöfen entweicht und aus fortgerissenem Gichtstaube besteht, gewöhnlich mit ziemlicher Deutlichkeit Veränderungen im Gange des Hochofens wahrnehmen. Bei Gaargang pflegt er weisser und reichlicher, bei Rohgang gelblicher und weniger reichlich zu sein; doch besitzt jeder Ofen in dieser Hinsicht seine besonderen Eigenthümlichkeiten, mit denen man nur durch längere Beobachtung vertraut werden kann.

War der Rohgang durch allzu reichliches Verhältniss der Erze zu den Brennstoffen entstanden, so nennt man ihn übersetzten Gang. Den Gegensatz dazu bildet der heissgaare Gang, bei welchem die Temperatur und die Reductionswirkung des Ofens durch ein Uebermaass des benutzten Brennstoffs mehr als wünschenswerth gesteigert sind. Ein graphitreiches, zur Gaarschaumbildung neigendes Roheisen pflegt hierbei zu erfolgen.

Wie der Arzt eine Krankheit am sichersten zu heilen vermag, wenn er die Diagnose richtig gestellt hat, ist es auch zur Beseitigung der Krankheiten des Hochofens, des Rohganges, nothwendig, zunächst ihrer Ursache nachzuforschen. War eine Form leck geworden, so muss sie rasch beseitigt werden, trug ein zu hohes Verhältniss des Erzsatzes zum Brennstoffsatze die Schuld, so verringert man den Erzsatz. Nicht immer jedoch ist es möglich, sofort mit Sicherheit die wahre Ursache des Rohganges zu erkennen, und in jedem Falle hat man darnach zu trachten, einem fernern Sinken der Temperatur im Ofen vorzubeugen und sie wieder auf das für den Gaargang erforderliche Maass zu steigern. Die Erniedrigung des Erzsatzes ist auch hierzu förderlich, und sie ist deshalb fast immer das erste Mittel, welches man zur Abstellung des Rohganges anwendet. Je länger aber die Durchsetzzeit des Ofens ist, desto länger währt es, bis der Erfolg dieses Mittels eintreten kann. Rascher lässt sich bisweilen durch eine Erhöhung der Windtemperatur der Rohgang beseitigen oder abmindern. Durch Verminderung der Windmenge wird ein allzu beschleunigter Schmelzgang verzögert, die Erze erhalten längere Zeit zur Vorbereitung, die Reduction durch Kohle wird auf ein kleineres Maass zurückgeführt, und es ist dieses ein besonders bei kleineren Oefen vielfach bewährtes Mittel, zumal, wenn gleichzeitig der Erzsatz veringert wird; in anderen, allerdings selteneren, Fällen kann eine Verstärkung der Windpressung von Nutzen sein.

Je kleiner der Ofen ist, desto empfindlicher pflegt er gegen alle Einflüsse zu sein, welche Rohgang hervorrufen, desto sorgfältiger muss die Begichtung, die Regelung der Windtemperatur und Windspannung u. s. w. beaufsichtigt werden.

Ein bei manchen Hochöfen ziemlich häufig wiederkehrender Vorgang, dessen Folgen recht unangenehm sein können, ist das Hängen der Gichten, ein Stillstehen der bei regelmässigem Gange gleichmässig niederrückenden Beschickung während längerer Zeit, oft mehreren Stunden, worauf dann ein plötzliches Niederstürzen folgt. Mitunter beträgt die Höhe des Absturzes in einigermassen grossen Oefen fünf Meter und darüber. Die äusseren Erscheinungen, welche diesen Vorgang begleiten, sind nicht immer gleich. Bei manchen Oefen tritt das Hängen der Gichten nur bei Rohgang ein, und bei den meisten

Oefen zeigt sich wenigstens nach dem Gichtensturze Rohgang als Folge des Umstandes, dass die plötzlich niederrückenden Erze ungenügend vorbereitet in den Schmelzraum gelangten und die grössere Menge der jetzt zur Auffüllung des Ofens erforderlichen Schmelzmaterialien ihn stärker als sonst abkühlte; bei einzelnen Oefen ist der Vorgang dagegen besonders häufig bei Gaargang bemerkbar und veranlasst auch, wenn er beendet ist, keine fernere Störung des Gaarganges.[1]) Mitunter, und zwar stets bei denselben Hochöfen, ist das Niederstürzen der Gichten von einer Art Explosion begleitet. Erz- und Brennstoffstücke werden aus der Gicht herausgeschleudert, und zwar mit solcher Gewalt, dass der Gichtgasfang zertrümmert werden kann. Selbst die Dächer der umliegenden Gebäude, z. B. der Giesshalle, sind bisweilen durch die mit Heftigkeit ausgeworfenen und niederstürzenden Körper stark beschädigt worden.

In allen diesen Fällen hatte sich aus den niederrückenden Massen innerhalb der Rast — selten darüber oder im Gestell — eine Zusammenhäufung gebildet, welche gewölbartig die darauf lastende Schmelzsäule trug, während die darunter befindlichen Kohlen allmählich wegbrannten und die Erze schmolzen. So entstand ein an Umfang mehr und mehr zunehmender hohler Raum über den Formen, bis jenes Gewölbe plötzlich zusammenbrach und nunmehr der plötzliche Niedergang der Beschickung eintrat. Bisweilen lässt sich durch augenblickliche Abstellung des Gebläsewindes der Niedergang herbeiführen; der durch den Wind ausgeübte Druck von unten hört auf, und das Gewölbe bricht zusammen.

Verschiedene Umstände können zur Bildung des Gewölbes Veranlassung geben.

Ist die gewählte Form des Ofeninnern nicht günstig für einen gleichmässigen Niedergang der Schmelzmaterialien, so können auf der Rast Stauungen entstehen, welche den besprochenen Vorgang veranlassen. Der Fall wird vornehmlich dann eintreten, wenn der Uebergang zwischen dem Kohlensack und dem Gestell zu rasch stattfindet, d. h. der Rastwinkel zu wenig steil ist. Auch ein allzu weiter Gestelldurchmesser des Ofens kann die Veranlassung sein, sofern die Windpressung nicht diesem grossen Durchmesser entspricht. Der Wind vermag nicht bis zur Mitte vorzudringen, und so kann es geschehen, dass die in der Mitte niederrückenden Erze unvollständig reducirt werden, zusammenfritten und die Erscheinung hervorrufen. Ein Vorschieben der Formen hat in diesem Falle oft gute Dienste gethan. Umgekehrt kann ein zu enger Durchmesser des Gestells und der unteren Rast durch Erschwerung des Niederrückens der Massen ebenfalls die erwähnten Stauungen herbeiführen; eine Erweiterung des Gestells bei Neuzustellung des Ofens ist dann geeignet, die Wiederkehr des Uebels zu verhüten. Eine ähnliche Wirkung als ein zu weites Gestell übt eine mangelhafte Vertheilung der Schmelzmaterialien beim Aufgichten, durch welche das Vorrücken der Erze nach der Mitte des Ofens befördert wird, oder eine ungenügende Mischung der Erze und Zuschläge, welche die Entstehung gefritteter Massen bewirkt. Verhüttet man sehr feinkörnige trockene Erze, so rieseln diese leicht zwischen den grö-

1) „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 114.

beren Brennstoffstücken hindurch, gelangen vorzeitig, d. h. ungenügend reducirt in den untern Theil der Rast und bilden hier, indem sie zusammensintern, das erwähnte Hemmniss; ein Annässen der Beschickung, an und für sich widersinnig wegen des dadurch bedingten grösseren Wärmeverbrauchs im Hochofen, hat in diesem Falle bisweilen sich als erfolgreich zur Vermeidung des Uebels erwiesen. Entsteht Oberfeuer (Seite 494) durch zu kalten Wind, mangelhafte Vertheilung des Windes oder aus sonstigen Ursachen, so kann auch dieses den Vorgang zur Folge haben. Auch die massenhafte Ablagerung von Kohlenstoff auf den Erzen durch Zerfallen von Kohlenoxyd (Seite 267) und das dadurch herbeigeführte Zerfallen der Erze zu Pulver kann die Erscheinung zur Folge haben. Es entsteht ein unschmelzbares Gemenge von Kohlen und feinpulverigen Erzbestandtheilen, welches sich in dem engern Theile des Ofens festsetzt und die Stauung veranlasst. In diesem Falle bleibt der Gang des Ofens gaar, und Abhülfe lässt sich durch künstliche Erzeugung von Oberfeuer schaffen, indem man mit kaltem Winde bläst. Die abgelagerte Kohle verbrennt, und die Massen kommen in's Schmelzen.

Die Roheisenerzeugung des Ofens wird durch dieses Hängen der Gichten geschmälert; entstehen beim Gichtensturze Explosionen, so bilden diese eine Gefahr für die Arbeiter und den Ofen selbst. Lagern aber die sich stauenden Massen so dicht sich auf einander, dass die Gase keinen Durchweg mehr finden, so entsteht eine jener gefährlichen Versetzungen, deren Beseitigung schon auf Seite 488 besprochen wurde. Daher ist es wichtig, nach Möglichkeit die Erscheinung zu vermeiden, oder, wenn sie sich zeigt, abzukürzen. Die anzuwendenden Mittel aber müssen von der Entstehungsursache abhängig sein, und, wie aus Vorstehendem sich ergiebt, können bei verschiedenen Oefen mitunter ganz entgegengesetzte Mittel zum Ziele führen. Einiges Nähere über solche Vorkommnisse unter verschiedenen Betriebsverhältnissen ist in den unter Literatur aufgeführten Abhandlungen mitgetheilt.

3. Der Betrieb auf verschiedene Roheisengattungen und die Berechnung der Beschickung.

a) Allgemeines.

Die Beschaffenheit des im Hochofen erfolgenden Roheisens ist im Wesentlichen abhängig:

1. Von der chemischen Zusammensetzung der einzelnen verhütteten Erzsorten an und für sich. Aus einem manganarmen Erze kann natürlicherweise niemals ein manganreiches Roheisen entstehen; aus einem phosphorreichen Erze kein phosphorarmes Roheisen.

2. Von der Temperatur im Schmelzraume des Ofens. Die Reduction von Mangan und Silicium in grösseren Mengen erfordert hohe Temperaturen; daher lassen sich silicium- oder manganreiche Roheisensorten nicht in kalt gehenden Hochöfen darstellen. Die Temperatur im Ofen ist abhängig von der Temperatur des Gebläsewindes, der Beschaffenheit des Brennstoffs, dem Verhältniss der Menge des Brennstoffs zum

Erzsatze und dem Wärmeverbrauche des Ofens; letzterer aber ist beträchtlicher, wenn grössere Mengen Mangan und Silicium reducirt werden, und bei Verhüttung schwer reducirbarer Erze, als im umgekehrten Falle.[1]) Alle diese Umstände zusammen machen einen um so grösseren Brennstoffverbrauch und Anwendung stärker erhitzten Windes erforderlich, je silicium- oder manganreicher das Roheisen werden soll und je schwerer reducirbar die Erze sind.

3. Von der Windmenge, welche der Ofen in der Zeiteinheit erhält; oder richtiger von dem Verhältnisse dieser Windmenge zu dem Rauminhalte des Hochofens. Je mehr Wind der Ofen empfängt, desto rascher verläuft das Schmelzen, desto grösser ist die Menge des dargestellten Roheisens, aber desto leichter tritt vorzeitige Verschlackung unreducirten Eisens ein, und desto unbedeutender wird die Reduction von Silicium oder Mangan ausfallen. Ein Hochofen, welcher auf gewöhnliches Weisseisen betrieben wird, verträgt daher und erfordert sogar eine stärkere Beschleunigung des Schmelzganges als ein solcher, welcher graues oder manganreicheres Roheisen darstellen soll.

4. Von der chemischen Zusammensetzung der gesammten Beschickung, welche die chemische Zusammensetzung der erfolgenden Schlacke bedingt. Roheisen, welches bei verhältnissmässig geringem Brennstoffaufwande in niedriger Temperatur erfolgt (gewöhnliches, zumal phosphorreiches Weisseisen), würde sich nicht erzeugen lassen, wenn die miterfolgende Schlacke zu strengflüssig wäre, um in jener niedrigen Temperatur zu schmelzen; andrerseits ist für die Bildung von Roheisen, welches reichlichere Mengen schwerreducirbarer Körper (Silicium, Mangan) aufnehmen soll und einer hohen Temperatur für seine Entstehung bedarf (graues Roheisen und Siliciumeisen, Spiegeleisen und Eisenmangan), eine solche Zusammensetzung der Schlacke förderlich, dass sie nicht allzu zeitig schmilzt und dabei einen grösseren Eisenoxydulgehalt aufnimmt, welcher die Reduction jener Körper verhindern würde (Seite 178). Auch noch in andrer Weise ist die Zusammensetzung der Schlacken von Einfluss auf die Zusammensetzung des Roheisens. Mangan wird um so leichter reducirt, je basischer die Schlacke ist, Silicium leichter bei weniger stark basischer Schlacke (Seite 36); enthält aber die Beschickung Schwefel, so geht dieser nur in die Schlacke, wenn diese kalkreich genug ist, und ein Betrieb mit mineralischen Brennstoffen, zumal mit Koks, welche stets Schwefel enthalten, liefert deshalb nur dann ein brauchbares Roheisen, wenn die Schlacke nicht zu kieselsäurereich ist. Ihr Silicirungsgrad darf nicht erheblich über den eines Singulosilikats hinausgehen.

Durch entsprechende Gattirung mehrerer Erzsorten oder durch Zusatz geeigneter Zuschläge ist man im Stande, verschiedene Roheisensorten aus den gleichen Erzen darzustellen, wenn auch die ursprüngliche Beschaffenheit der Erze sie oft mehr geeignet für den einen als für den andern Zweck erscheinen lässt. Rasenerze, mit Quarzkörnern durchmengt oder quarzige Rotheisenerze werden fast immer die Graueisen-

1) Von schwer reducirbaren Erzen geht ein grösserer Theil als von leicht reducirbaren unreducirt in die Schlacke ein, um aus dieser erst durch Kohle reducirt zu werden. Auch Mangan und Silicium werden nur durch Kohle reducirt. Daher der grössere Wärmeverbrauch in diesen Fällen.

bildung befördern; manganreiche Spathe dagegen werden, auch wenn sie auf graues Roheisen verarbeitet werden, immerhin diesem die Neigung ertheilen, bei rascher Abkühlung weiss zu werden, leichter aber auf weisses Roheisen oder Spiegeleisen sich verarbeiten lassen. Ein grösserer Thonerdegehalt der Erze macht sie gewöhnlich geeigneter für Graueisen- als für Weisseisendarstellung, da er die Bildungs- und Schmelztemperatur der Schlacke erhöht; umgekehrt wird die Graueisendarstellung schwieriger, wenn nur thonerdefreie Erze zur Verhüttung vorliegen.

Selbstverständlich ist es, dass man für Darstellung bestimmter Roheisensorten nicht Erze benutzen wird, durch welche Bestandtheile, nachtheilig für die Verwendung jener Roheisensorten, ihnen zugeführt werden. Die Verwendung des Spiegeleisens erheischt möglichste Reinheit von Phosphor; das Gleiche ist bei dem für das saure Bessemerverfahren bestimmten grauen Roheisen der Fall. Es würde widersinnig sein, hier phosphorreiche Erze verhütten zu wollen. Weniger von Belang ist ein Phosphorgehalt in dem Giessereiroheisen und dem gewöhnlichen Weisseisen; das basische Bessemerverfahren (Thomasverfahren) verlangt sogar ein Roheisen mit grösserem Phosphorgehalte. Hier also sind phosphorhaltige Erze verwendbar. Ein höherer Mangangehalt aber ist für Giessereiroheisen von Nachtheil, da er ihm die Eigenschaft verleiht, leicht hart, weiss zu werden; für die Verwendung des Weisseisens ist er eher förderlich als nachtheilig. Phosphorhaltige manganreichere Erze eignen sich demnach mehr für Weisseisendarstellung, während manganarme für beide Zwecke brauchbar sind, häufig aber, besonders bei grösserem Thonerdegehalte, mehr die Graueisenals die Weisseisendarstellung befördern. Von solchen Erwägungen muss zunächst die Benutzung der zur Verfügung stehenden Erze abhängig sein.

b) Die Entstehungsbedingungen der wichtigsten Roheisengattungen.

Siliciumeisen. Die Temperatur im Schmelzraume des Hochofens muss hoch sein, der Wärmeverbrauch zur Reduction des Siliciums aber ist beträchtlich (Seite 48). Zur Deckung dieses Wärmeverbrauchs und in Rücksicht auf den Umstand, dass Silicium nur durch Kohle (nicht durch Kohlenoxyd) reducirt werden kann, ist ein reichliches Verhältniss des Brennstoffs zum Erze erforderlich, welches mit dem Siliciumgehalte der darzustellenden Legirung zunehmen muss. Die Anwendung hocherhitzten Windes ist unumgänglich; bei Anwendung von Koks als Brennstoff ist erfahrungsmässig leichter als bei Anwendung von Holzkohlen eine hohe Temperatur im Schmelzraume erreichbar[1]). Damit Silicium in grösserer Menge reducirt werden kann, darf die im Schmelzraume anlangende Schlacke nicht mehr reich an Eisen sein;

1) Die Erklärung dieser an und für sich auffälligen Thatsache lässt sich in dem Umstande finden, dass wegen des grösseren spezifischen Gewichts der Koks ihre Verbrennung innerhalb eines kleineren Raums sich vollzieht. Die Verbrennungserzeugnisse treten demnach im ersten Augenblicke mit einer geringeren Menge wärmeaufnehmender Körper als bei Verbrennung von Holzkohlen in Berührung; die Temperatur im Verbrennungsraume fällt höher aus.

daher sind leicht reducirbare Erze (Roth- und Brauneisenerze) geeigneter als schwerreducirbare (Magneteisenerze, Frischschlacken). Da die Verwendbarkeit des Siliciumeisens Einbusse erleiden würde, wenn es einen grössern Phosphorgehalt besässe, dürfen nur phosphorarme Erze Verwendung finden. Die Bildungstemperatur der Schlacke soll nicht zu niedrig liegen, damit nicht vorzeitige Verschlackung von Eisenoxydul eintrete. Ein hoher Kieselsäuregehalt der Schlacke würde zwar der Reduction des Siliciums günstig sein, ist aber in Rücksicht auf den Schwefelgehalt der Koks nicht zulässig; ein hoher Basengehalt würde die Reduction reichlicher Mengen Silicium erschweren. Man pflegt daher thonerdereiche Schlacken zu bilden, welche der Reduction des Siliciums weniger hinderlich sind, als kalkreiche mit dem nämlichen Kieselsäuregehalte, und dabei strengflüssig genug, um nicht vorzeitig zu schmelzen. Als Beispiele der Zusammensetzung mögen die nachfolgenden dienen. Die Schlacken erfolgten bei Darstellung von Siliciumeisen mit etwa 14 Hunderttheilen Silicium.[1])

	I		II	
Kieselsäure	33,10	Hunderttheile	27,70	Hunderttheile
Thonerde	24,56	"	26,70	"
Kalkerde	25,92	"	34,69	"
Magnesia	6,97	"	3,45	"
Eisenoxydul	0,31	"	Spur	"
Manganoxydul	0,37	"	Spur	"
{Schwefel	3,45	"	2,45	"
{Calcium	4,31	"	3,08	"
Alkalien und Verlust	1,01	"	1,93	"
	100,00		100,00	

Graues Roheisen. Die Entstehungsbedingungen sind denen für die Bildung des Siliciumeisens ähnlich; aber der Brennstoffverbrauch ist weniger hoch, entsprechend dem niedrigeren Siliciumgehalte des darzustellenden Roheisens, die Schlacke gewöhnlich minder strengflüssig. Schmelzt man kieselsäurereiche Erze mit Holzkohlen, so pflegt man eine für die Siliciumreduction günstig zusammengesetzte Schlacke zu bilden, indem man nur verhältnissmässig wenig basische Zuschläge giebt, so dass ein Bisilikat oder eine noch kieselsäurereicherere Schlacke entsteht, und man erniedrigt auf diese Weise möglichst wenig den Eisengehalt der Beschickung. Solche kieselsäurereiche Schlacken sind freilich, zumal bei mässigem Thonerdegehalte, verhältnissmässig leicht schmelzbar (Fig. 48 und 50 auf Seite 182 und 185). Sind die Erze dagegen kalkreich (z. B. Spatheisensteine), so würde die Bildung solcher kieselsäurereicher Schlacken nur durch Anwendung reichlicher Zuschläge kieselsäurehaltiger Gesteine möglich sein, wodurch der Eisengehalt der Beschickung entsprechend abgemindert werden würde. In solchen Fällen pflegen die Schlacken zwischen Singulo- und Bisilikat zu stehen; basischere Schlacken als Singulosilikate würden in der immerhin beschränkten Temperatur der Holzkohlenhochöfen schwierig schmelzen und die Siliciumreduction erschweren. Sind die Erze aber reich an Magnesia, so ist man mitunter gezwungen, trotzdem noch einen Kalksteinzuschlag zu geben, weil die Schlacken bei zu hohem Verhältnisse

1) Analysen des Verfassers.

der Magnesia zur Kalkrede nicht schmelzbar genug sein würden (S. 183). Der Fall kommt z. B. auf ungarischen Eisenwerken vor.

Aus diesen Umständen erklärt sich, dass die Zusammensetzung der auf verschiedenen Hochofenwerken beim Betriebe auf Graueisen mit Holzkohlen erblasenen Schlacken ziemlich erheblichen Abweichungen unterliegt. Meistens bewegt sie sich innerhalb folgender Grenzen:

Kieselsäure	45 bis 65	Hunderttheile
Thonerde	10 „ 5	„
Basen	45 „ 30	„

Die nachfolgenden Beispiele geben die Zusammensetzung solcher Schlacken, welche theils in früherer, theils in späterer Zeit, stets aber bei dem Betriebe mit heissem Winde erfolgt sind.

Schlacken bei Darstellung grauen Roheisens mit Holzkohlen.

Name des Hochofenwerkes	SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO	MnO	FeO	K_2O, Na_2O	CaS	Silicirungs-grad	Bemerkungen
Jenbach in Tyrol . . .	66,90	14,08	4,48	12,24	0,85	0,83	n. best.	0,38	2,4	Aus thonerdereichen Spathen. Berg- u. hüttenm. Ztg. 1873, S. 93.
Groeditz in Sachsen . .	63,98	3,33	0,88	22,55	5,53	1,82	3,33	0,03	2,3	Schön blaue Schlacke aus Rasenerzen mit Kalksteinzuschlag. Von mir untersucht.
Ebendaher	64,30	4,73	4,10	19,89	3,16	1,59	n. best.	n. best.	2,3	Fast weisse Schlacke. Uebrigens wie vorstehend.
Pfeilhammer in Sachsen	56,10	5,20	7,21	21,78	6,30	2,70	„	„	2,2	Lichtblau, krystallinisch. In meinem Laboratorium untersucht.
Ilsenburg am Harz . .	56,89	6,38	2,64	28,46	2,01	1,72	1,30	„	2,3	Kerl, Grundriss d. Eisenhüttenkunde, S. 167.
Rübeland „ „ . .	53,79	13,04	0,57	25,67	2,20	2,44	n. best.	„	2,0	Kerl, Grundriss d. Eisenhüttenkunde, S. 167.
Koláhpatak in Ungarn .	53,40	7,65	13,40	17,00	5,17	1,07	„	0,95	1,8	Kerpely, Ungarns Eisensteine und Eisenhüttenerzeugnisse, S. 84.
Zorge am Harz	49,30	12,17	2,28	31,23	0,95	0,79	2,61	0,43	1,8	Graublaue Schlacke. Von mir untersucht. Vergleiche auch S. 517.
Edsken in Schweden . .	46,37	4,80	7,40	38,14	1,86	0,95	0,43	0,07	1,7	Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abth. III, S. 746.
Dernö in Ungarn . . .	45,57	7,35	6,13	33,20	2,81	0,90	n. best.	2,10	1,5	Kerpely, a. a. O.
Krompach in Ungarn . .	44,90	7,00	14,12	25,05	4,09	0,92	2,52	0,41	1,3	Aus magnesiareichen Spathen mit Kalksteinzuschlag erzeugt. Von mir untersucht.
Neuberg in Steiermark .	40,95	8,70	16,32	30,35	2,18	0,60	0,32	—	1,1	Kerl, Grundriss d. Eisenhüttenkunde, S. 170.

Die Zusammenstellung liefert die Bestätigung dafür, dass es unter sehr abweichenden Verhältnissen, d. h. bei sehr verschiedener Zusammensetzung der erfolgenden Schlacke, möglich sein kann, Graueisen mit Holzkohlen darzustellen. Einige Schlacken dagegen, in weit von einander entlegenen Gegenden und zu verschiedenen Zeiten erblasen, zeigen wieder eine auffallende Uebereinstimmung (z. B. die Schlacken von Pfeilhammer und Ilsenburg, ferner von Krompach und Neuberg u. a.), und gewöhnlich wird sich in solchen Fällen auch die Uebereinstimmung in der Beschaffenheit der verwendeten Erze nachweisen lassen.

Bei dem Betriebe mit Koks sind, wie oben hervorgehoben wurde, kieselsäurereichere Schlacken als Singulosilikate nicht wohl brauchbar. Ein nicht zu geringer Thonerdegehalt ist für die Siliciumreduction

förderlich; thonerdereichere Singulosilikate können aber, wie die Schaulinien auf Seite 185 zeigen, recht leicht schmelzbar sein, wodurch in der hohen Temperatur der Kokshochöfen die Verschlackung von Eisen befördert, also die Entstehung von Graueisen erschwert wird. Man pflegt also noch reichlichere Mengen Kalkstein zuzuschlagen als zur Bildung eines Singulosilikats erforderlich sein würde, und Schlacken zu bilden, deren Kieselsäuregehalt einem 0,7 Silikate entspricht, mitunter jedoch, zumal bei hohem Thonerdegehalte, noch unter dieses Maass hinuntergeht.[1]) So entstehen nicht selten jene auf Seite 188 erwähnten kalkreichen Schlacken, welche alsbald nach dem Erstarren zu Pulver zerfallen. Die Reduction des Siliciums wird unleugbar durch die stark basische Beschaffenheit dieser Schlacken erschwert; aber ein Ausgleich wird theils durch die hohe Temperatur im Schmelzraume, theils durch die geringere Verschlackung von Eisenoxydul geschaffen.[2])

Diese kalkreichen Schlacken im Vereine mit der hohen Temperatur ermöglichen nun eine weitgehende, fast vollständige, Verschlackung des Schwefelgehaltes der Beschickung, und auf Seite 292 wurde schon der im ersten Augenblicke überraschenden Thatsache Erwähnung gethan, dass aus diesem Grunde das mit Koks erblasene graue Roheisen schwefelärmer zu sein pflege als das in Holzkohlenhochöfen erfolgte.

In den meisten Fällen ist die Zusammensetzung der beim Kokshochofenbetriebe auf graues Roheisen entstehenden Schlacken ungefähr folgende:

Kieselsäure	30	bis	35	Hunderttheile
Thonerde	15	„	10	„
Basen	50	„	55	„

Kieselsäurereichere Schlacken kommen ausnahmsweise vor (wie aus der nachfolgenden Zusammenstellung (Seite 527) erkennbar ist), wenn ein besonders schwefelarmer Brennstoff zur Verfügung steht; sind dagegen die Erze übermässig reich an Thonerde, so kann der Kieselsäuregehalt bis auf 25 Hunderttheile sinken (manche englische und schottische Schlacken). Der Kieselsäure- und Thonerdegehalt zusammen erreichen in diesen Fällen ungefähr das gleiche Maass wie in den weniger thonerdereichen Schlacken von der soeben angegebenen Zusammensetzung. Die Theorie von der Vertretung der Kieselsäure durch Thonerde in den Schlacken (Seite 179) erhält hierdurch eine scheinbare Bestätigung.

Weissstrahliges und gewöhnliches Weisseisen. Bei Darstellung eines gewöhnlichen Weisseisens kommt es zunächst darauf an, die

1) Die Thonerde der Schlacken ist bei Berechnung des Silicirungsgrades stets als Base gerechnet.

2) Man könnte hier einwenden, dass Eisenoxyd und Kalkerde leicht schmelzbare Verbindungen bilden (Seite 166, 224) und dass demnach die Verschlackung von Eisenoxyd durch einen grossen Kalkerdegehalt der Schlacken nicht erschwert sondern im Gegentheile erleichtert werden müsse. Eisenoxyd (Fe_2O_3) kann aber in dem Theile des Hochofens, wo die Verschlackung beginnt, überhaupt nicht mehr vorkommen, und Eisenoxydul (FeO) ist eine kräftige Base, deren Reduction durch Anwesenheit kieselsäurereicher Schlacken erschwert, durch Anwesenheit basischer Schlacken erleichtert wird (Seite 180).

Schlacken bei Darstellung grauen Roheisens mit Koks (Anthraziten, Steinkohlen).

Name des Hochofenwerkes	SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO	MnO	FeO	K_2O, Na_2O	CaS	Silicirungsgrad	Bemerkungen
										Beim Betriebe auf
Mühlheim a.d. Ruhr (1882)	27,50	9,75	1,37	58,90	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	0,66	Roheisen Nr. I } „Stahl und Eisen“ 1882, S. 216.
„ „ „ „ „	31,37	13,09	1,16	52,04	„	„	„	„	0,75	„ „ II
„ „ „ „ „	31,20	10,81	1,08	53,17	„	„	„	„	0,80	„ „ III
„ „ „ „ „	32,20	8,17	n. best.	48,92	4,79	„	„	„	0,90	„ „ IV
Hörde	29,45	12,83	8,10	39,78	1,95	0,54	„	8,20	0,74	Bessemerroheisen Nr. I. In Hörde untersucht.
„	29,40	11,70	11,54	36,11	0,20	0,80	„	9,08	0,76	Giessereiroheisen Nr. I. In Hörde untersucht.
Königin-Marienhütte bei Zwickau (1881) . . .	30,20	9,22	12,31	39,23	1,13	0,32	2,35	4,79	0,74	Bessemerroheisen Nr. I. Von mir untersucht.
Schwechat bei Wien . .	33,25	12,17	12,94	31,26	4,91	0,95	1,56	1,98	0,82	Enthält 0,11 Calciumphosphat. Oesterreich. Jahrb. Bd. XXII, S. 393.
Georgs-Marienhütte bei Osnabrück (1882) . .	33,60	11,20	8,99	27,02	10,98	0,97	n. best.	CaS 2,42 BaS 4,04	0,90	Beim Betriebe auf Bessemerroheisen Nr. I mit 3,9 Hundertheilen Mn. In Georgs-Marienhütte untersucht.
Zeltweg in Steiermark .	33,35	13,21	7,32	37,71	1,43	0,21	0,53	5,51	0,87	Oesterr. Jahrb. Bd. XXIV, S. 336.
Ursprung nicht angegeben. Vermuthlich aus Minetteerzen erfolgt .	37,10	16,70	1,90	38,50	0,70	0,40	n. best.	4,10	1,00	Nach Platz, „Stahl und Eisen“ 1892, S. 3. Lange glasige Schlacke.
Wie vorstehend . . .	35,40	9,20	2,30	47,20	0,40	0,40	„	4,60	1,00	Wie vorstehend. Kurze Schlacke.
Luxemburg	37,38	10,94	1,99	46,14	0,72	1,00	„	n. best.	1,0	Bei Verhüttung von Minette.
Englische thonerdereiche Schlacken	24,92	23,64	13,41	37,31	n. best.	n. best.	„	„	0,50	Sehr steife Schlacke. Iron, vol. XVI, p. 293.
Desgl.	26,46	19,54	13,24	35,50	„	„	„	„	0,58	Besser als die vorige. Iron, vol. XVI, p. 293.
„	27,65	24,69	3,55	36,56	0,35	0,72	1,45	4,39	0,60	Kerl, Grundriss der Eisenhüttenkunde, S. 168.
Almond Iron Works, Falkirk	28,59	22,32	7,78	36,76	0,50	0,37	0,63	3,25	0,61	Journal of the Iron and Steel Institute 1886, p. 89.
Anniston (Alabama) . .	40,51	19,56	1,09	30,80	—	1,20	n. best.	2,61	1,1	} Kupelwieser, Das Hüttenwesen auf der Weltausstellung zu Philadelphia, S. 69 und 78.
Cedar Point Hochofen zu Port Henry am Lake Champlain; Anthrazitbetrieb	47,94	12,01	4,36	31,20	0,19	1,55	„	1,75	1,5	

Reduction grösserer Mengen Silicium, welche Graphitausscheidung hervorrufen würden, zu hindern. Das einfachste Mittel hierfür ist niedrige Temperatur im Schmelzraume; also reichlicheres Verhältniss des Erzsatzes zum Brennstoffe, als bei Darstellung von Graueisen oder Spiegeleisen, und Anwendung nicht allzu heissen Windes. Damit aber in dieser niedrigeren Temperatur nicht Versetzungen des Ofens eintreten können, muss auch die Bildungs- und Schmelztemperatur der Schlacke tiefer liegen als bei Darstellung jener Roheisensorten. Man erreicht dieses Ziel durch Gattiren der Erze und Zuschläge in solchen Verhältnissen, dass beim Betriebe mit Koks eine Singulosilikatschlacke, beim Betriebe mit Holzkohlen eine dem 1,5 Silikat nahe stehende Schlacke (Seite 182) mit nur mässigem Thonerdegehalte erfolgt. Führt man die gleiche Windmenge zu und verbrennt demnach in

derselben Zeit ebensoviel Brennstoff, als bei Graueisendarstellung, so schmelzt man mehr Erz und erzeugt entsprechend mehr Roheisen, und eine solche Beschleunigung des Schmelzganges ist um so zulässiger, je geringeren Werth man auf einen hohen Kohlenstoff- und Mangangehalt des erfolgenden Roheisens legt. Auch ein grosser Phosphorgehalt der Beschickung ermöglicht mittelbar eine stärkere Beschleunigung des Schmelzganges; denn da der Phosphorgehalt des Roheisens dessen Schmelztemperatur erniedrigt, bleibt auch das bei beschleunigtem Schmelzgange erfolgende kohlenstoffarme Roheisen noch ausreichend flüssig, sofern es eine grössere Menge Phosphor enthält (Thomasroheisen).

Ein derartiger beschleunigter Schmelzgang des Hochofens befördert nun freilich, zumal bei Verhüttung von schwieriger reducirbaren Erzen, die Entstehung einer eisenreicheren Schlacke, deren Eisengehalt als gleichbedeutend mit einem Eisenverluste zu betrachten ist. Steigt der Eisengehalt der Schlacke übermässig — bei wirklichem Rohgange —, so entsteht das auf Seite 343 und 517 besprochene geringwerthige grelle Roheisen oder Treibeisen, und der Betrieb wird wegen der Abkühlung des Ofens misslich.

Für die Darstellung des eigentlichen strahligen und hochstrahligen Roheisens, welches durch einen höheren Kohlenstoffgehalt und gewöhnlich durch einen Mangangehalt von einigen Hunderttheilen ausgezeichnet zu sein pflegt, ist die Anwendung manganhaltiger Erze, ein etwas weniger hoher Erzsatz und weniger stark beschleunigter Schmelzgang als bei Erzeugung des gewöhnlichen Weisseisens nothwendig. Die Temperatur im Ofen ist höher; aber von dem Mangangehalte der Beschickung darf nur ein Theil (etwa zwei Drittel) reducirt werden, da sonst Silicium reducirt werden und graues Roheisen statt weissen erfolgen würde, sobald der Mangangehalt der Schlacke nicht mehr ausreicht, das Silicium vor Reduction zu schützen. Der Fall kommt bisweilen vor; dagegen entsteht gewöhnliches Weisseisen statt des Weissstrahls, wenn die Temperatur zu niedrig, der Schmelzgang zu beschleunigt ist, um die Reduction des erforderlichen Mangangehaltes zu ermöglichen. Verhüttet man aber entsprechend manganreiche Beschickungen mit einem verhältnissmässig reichlichen Brennstoffaufwande, so entstehen Uebergangstufen zum Spiegeleisen (Halbspiegeleisen, Seite 345).

Wie die Seite 529 folgenden Beispiele erkennen lassen, ist die Zusammensetzung der Schlacken im Allgemeinen bei dem Betriebe auf diese Roheisenarten etwa:

beim Holzkohlenbetriebe

Kieselsäure	45 bis 50 Hunderttheile
Thonerde	10 „ 5 „
Basen	45 „ 55 „

beim Koksbetriebe

Kieselsäure	30 bis 40 Hunderttheile
Thonerde	10 „ 5 „
Basen	60 „ 55 „

Spiegeleisen. Ein mangan- und kohlenstoffreiches, siliciumarmes Roheisen soll erzeugt werden. Die Reduction des Mangans erfolgt nur durch festen Kohlenstoff; sie kann nicht früher oder doch in erheblichem

Schlacken bei Darstellung von Weissstrahl und gewöhnlichem Weisseisen.

Name des Hochofenwerkes	SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO	MnO	FeO	K_2O, Na_2O	CaS	Silicirungsgrad	Bemerkungen
Holzkohlenhochöfen:										
Neuberg in Steiermark	43,70	10,40	13,17	23,54	5,10	0,13	2,22	1,24	1,3	Beim Betriebe mit Holzkohlen auf Weissstrahl. Oesterr. Jahrb. Bd. XX, S. 68.
Judenburg in Steiermark . . .	47,28	6,36	8,72	21,77	11,30	1,12	1,54	1,17	1,5	Oesterreich. Jahrb. Bd. XXIII, S. 362.
Reschitza in Ungarn	45,56	8,69	9,15	25,79	8,83	0,79	Sp.	1,40	1,4	Beim Betriebe auf feinstrahliges Weisseisen. Kerpely, Ungarns Eisensteine, S. 84.
Bogschán in Ungarn	48,80	8,88	4,11	26,50	9,02	2,26	0,05	0,20	1,6	Wie vorstehend.
Kokshochöfen:										
Eisenwerk am Niederrhein . .	42,23	9,84	1,32	37,13	0,97	2,60	n. best.	4,32	1,3	Beim Betriebe auf gewöhnliches Weisseisen. Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd II, S. 312.
Gutehoffnungshütte in Oberhausen (1879)	39,45	10,70	2,34	36,42	1,95	6,04	1,79	1,05	1,1	Beim Betriebe auf gewöhnliches Weisseisen. Schwarze, in vierseitigen Tafeln krystallisirte Schlacke. Von mir untersucht.
Eisenwerk Union, Dortmund (1883)	34,82	8,52	5,52	40,52	5,47	0,26	n. best.	5,01	1,0	Beim Betriebe auf Thomasroheisen. Enthält 0,16 Hunderttheile P_2O_5. Persönliche Mittheilung.
Hörde (1882)	32,45	12,38	9,00	35,05	6,31	0,58	„	4,25	0,8	Beim Betriebe auf Thomasroheisen. In Hörde untersucht (enthält 0,02 Hunderttheile P_2O_5).
Eisenwerk Vulkan, Duisburg (1883)	31,92	9,83	2,03	46,73	3,78	0,71	„	4,36	0,9	Beim Betriebe auf Thomasroheisen. Enthält 0,32 Hunderttheile P_2O_5. Persönliche Mittheilung.
Ilsede (1879)	29,85	10,60	3,69	37,49	13,58	0,59	„	2,97	0,8	Beim Betriebe auf weissstrahliges Roheisen mit etwa 3 Hunderttheilen P (vergl. die Analysen auf S. 346). Enthielt 0,16 Hunderttheile P_2O_5. Von mir untersucht.
Eisenwerk am Niederrhein . .	35,80	12,60	2,89	37,11	5,94	0,24	„	4,64	1,0	Beim Betriebe auf weissstrahliges Roheisen. Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. II, S. 312.
Georgs-Marienhütte	40,65	4,44	8,87	32,90	5,16	2,98	„	2,34	1,2	Beim Betriebe auf weissstrahliges Roheisen. Von mir untersucht.
Gleiwitz	38,49	6,99	6,83	38,60	5,26	0,63	„	2,40	1,1	Beim Betriebe auf spiegliges Roheisen (Analyse desselben auf S. 346) aus 4 Thln. Frischschlacken, 3 Thln. Braun- und 3 Thln. Spatheisenstein mit Kalksteinzuschlag. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenwesen Bd. XXII, S. 286.

Maasse nicht früher stattfinden, bevor nicht das Eisen annähernd reducirt worden ist. Ein manganhaltiges Roheisen und eine eisenoxydulreiche Schlacke würden bei ihrer Berührung ihre Bestandtheile gegen einander austauschen derartig, dass das Mangan in die Schlacke geführt und der Eisengehalt der letzteren dafür reducirt werden würde. Aus diesem Grunde ist die Anwendung leicht reducirbarer Erze von Vortheil; geröstete manganhaltige Spatheisensteine pflegen das Hauptmaterial für die Spiegeleisendarstellung zu bilden, und man versetzt sie mit man-

ganhaltigen Brauneisenerzen, Rotheisenerzen u. a. Die Leichtreducirbarkeit der Erze befördert zugleich die Aufnahme von Kohlenstoff; denn je später die Reduction des Eisens stattfindet, desto weniger Zeit findet es, noch Kohlenstoff aufzunehmen.

Dass man zur Darstellung des Spiegeleisens nicht phosphorreiche Erze benutzen werde, wurde bereits erläutert.

Für hochmanganhaltiges Spiegeleisen reicht der Manganhalt der Spathe selten aus, und man ist genöthigt, den Eisenerzen wirkliche Manganerze zuzusetzen.

Die Reduction des Mangans wird durch hohe Temperatur im Schmelzraume und basische Beschaffenheit der Schlacke befördert. Die Erzielung der erforderlichen hohen Temperatur wird, wie bei der Darstellung von Graueisen, durch Anwendung hocherhitzten Windes und von Koks statt Holzkohlen erleichtert; die Reduction des Mangans aber bedingt einen hohen Wärmeverbrauch, welcher durch einen vermehrten Aufwand an Brennstoff gedeckt werden muss. Ihrem Silicirungsgrade nach pflegt die Schlacke einem Singulosilikate nahe zu stehen oder noch basischer als dieses zu sein. Mitunter freilich findet man auch Schlacken mit höherem Kieselsäuregehalte, aber neben diesem auch dann regelmässig einen höheren Mangangehalt. Vorwiegend entstammen solche Schlacken dem Betriebe mit Holzkohlen und weniger stark erhitztem Winde, wobei die zum Schmelzen kalkreicherer und manganärmerer basischer Schlacken erforderliche hohe Temperatur nicht erreicht werden konnte.

Die Bedingungen für Bildung des Spiegeleisens sind somit denen für Bildung von tiefgrauem Roheisen ähnlich; *nothwendig für Spiegeleisenerzeugung ist aber immerhin — auch bei Bildung kalkreicher basischer Schlacken — die Gegenwart eines gewissen Mangangehaltes in der Schlacke.* Ohne diese erfolgt halbirtes oder graues Roheisen. Die Regel ist, dass bei Anwendung von Koks und hocherhitztem Winde 30—40 Hunderttheile des Mangangehaltes der Beschickung in der Schlacke zurückbleiben müssen. Durch Verlangsamung des Schmelzganges und Erhöhung des Brennstoffsatzes zum Erze würde man zwar im Stande sein, grössere Mengen Mangan zu reduciren; daneben aber würde alsdann auch Silicium in reicherem Maasse reducirt, und das erfolgende Roheisen würde Graphitbildung zeigen. Die Wirkung dieses Mangangehaltes der Schlacke ist unschwer zu erkennen. Da die Schlacke stark basisch ist, wird die Reduction des Siliciums erschwert oder unmöglich gemacht, so lange in der Schlacke noch reichlichere Mengen einer durch Kohlenstoff reducirbaren Base — des Manganoxyduls — zugegen sind; der Manganoxydulgehalt der Schlacke bildet, wie auch bei Darstellung weissstrahligen Roheisens, einen Schutz gegen die Reduction des Siliciums. Je mehr der Gehalt an Manganoxydul abnimmt und je mehr dadurch die Schlacke zugleich an basischer Beschaffenheit einbüsst, desto ungehinderter können die reducirenden Einflüsse des Hochofens auch auf den Kieselsäuregehalt der Schlacke sich ausdehnen.

Ein hoher Thonerdegehalt der Schlacke erschwert die Spiegeleisenbildung. Der Umstand, dass die Thonerde als sehr schwache Base, sofern sie an Stelle stärkerer Basen zugegen ist, die

Reduction des Siliciums und somit die Entstehung von Graueisen begünstigt und die Reduction des Mangans wenigstens nicht in dem Maasse als stärkere Basen erleichtert, erklärt leicht jene Thatsache.

Bei dem Betriebe mit Koks pflegt die Zusammensetzung der Schlacke ungefähr folgende zu sein:

Kieselsäure 30 Hunderttheile,
Thonerde 10 „
Manganoxydul . . . 5 bis 15 Hunderttheile (mit dem Mangangehalte des erfolgenden Roheisens wachsend),
Kalkerde, Magnesia . 55 bis 45 Hunderttheile.

Beim Betriebe mit Holzkohlen sind die Schlacken häufig, um ausreichend leicht schmelzbar zu sein, saurer (1,4 = Silikat) und zugleich manganreicher. Der Manganverlust ist grösser, der Mangangehalt des erfolgenden Roheisens geringer als bei Verhüttung der nämlichen Erze mit Koks.

Schlacken bei Darstellung von Spiegeleisen.

Name des Hochofenwerkes	SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO	MnO	FeO	K_2O, Na_2O	CaS	Silicirungsgrad	Bemerkungen
Hörde	29,00	8,11	7,14	43,05	7,04	0,42	n. best.	3,74	0,8	Beim Betriebe auf Spiegeleisen mit 10—12 Hunderttheilen Mn. In Hörde untersucht.
Creuzthal	32,66	9,49	8,30	20,09	12,78	4,41	„	12,17 (?)	1,0	Beim Betriebe auf Spiegeleisen mit 11,5 Hunderttheilen Mn. Wegen zu geringen Kalkerdegehaltes ist der Mangangehalt der Schlacke hoch. In Creuzthal untersucht.
Ebenda	30,70	11,60	8,51	35,73	8,78	0,48	„	4,15	0,8	Unter den gleichen Verhältnissen, jedoch mit reicherem Kalksteinzuschlage als die vorstehende Schlacke erblasen; daher geringerer Mangan- und Eisengehalt der Schlacke.
Niederrheinisches Eisenwerk	37,72	8,04	6,30	31,30	11,51	0,20	„	4,80	1,1	Beim Betriebe auf Spiegeleisen mit 16 Hunderttheilen Mangan. Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. II, S. 312.
Georgs-Marienhütte . .	30,65	9,18	7,58	40,25	2,97	1,54	„	CaS 2,22, BaS 5,24	0,8	Beim Betriebe auf Spiegeleisen mit 4,75 Hunderttheilen Mn. In Georgs-Marienhütte untersucht.
Reschitza (Betrieb mit Holzkohlen 1877) . .	41,22	6,45	1,48	9,55	39,49	1,03	0,6	0,21	1,4	Bei Darstellung von Spiegeleisen mit 7 Hunderttheilen Mn gefallen (Kerpely, Ungarns Eisenerze, S. 84). Kalkarme, saure Schlacke, daher sehr hoher Manganverlust.

Erwähnung verdient der Umstand, dass in der hohen Temperatur, welche die Darstellung hochmanganhaltigen Spiegeleisens erheischt, ein Theil des Mangans vor dem Formen verflüchtigt und mit den Gichtgasen entführt werden kann, nachdem es in dem an Kohlensäure und Wasserdampf reicheren Gasstrome des obern Theiles des Hochofens wieder zu braunem Manganoxyduloxyd verbrannt worden ist. Whiting fand, dass bei Darstellung von Spiegeleisen mit 30 Hunderttheilen Mangan — also einer Uebergangsstufe zwischen eigentlichem Spiegel-

eisen und Eisenmangan, 1,7 Hunderttheile des Mangangehaltes der Erze verflüchtigt wurden.[1])

Eisenmangan. Grössere Mengen Mangan als für Darstellung des Spiegeleisens sollen reducirt werden. Jene oben besprochenen, die Manganreduction betreffenden Bedingungen müssen also in erhöhtem Maasse erfüllt werden: hohe Temperatur, stark basische Schlacke, Mangangehalt der Schlacke, verzögerter Schmelzgang, reiches Verhältniss des Brennstoffs zum Erz. Je höher der Mangangehalt werden soll, desto mehr wirkliche Manganerze müssen der Beschickung zugeschlagen werden, und bei Darstellung der reichsten Eisenmangane besteht sie nur aus Manganerzen mit den entsprechenden schlackenbildenden Zuschlägen.

Da die Erzeugungstemperatur dieser Legirungen höher liegt als die Verdampfungstemperatur des Mangans, wird ein Theil des letzteren verflüchtigt. In dem oberen Theile des Hochofens verbrennt es, wie bei Spiegeleisendarstellung, unter der Einwirkung von Kohlensäure, Wasserdampf oder dem Sauerstoff der Erze, wird in feiner Vertheilung von den Gasen mit empor geführt und entweicht als brauner Rauch aus dem Hochofen. Die Menge des verflüchtigten Mangans wächst mit dem Mangangehalte der erfolgenden Legirung und der Temperatur im Ofen. Nach Schilling[2]) können bei Darstellung von Eisenmanganen mit 60—70 Hunderttheilen Mangan durch Verflüchtigung bis zu 17 Hunderttheile des ursprünglichen Mangangehaltes, bei Legirungen mit 80 Hunderttheilen Mangan noch mehr verloren gehen; nach Whiting dagegen betrug der Verlust bei Darstellung von Eisenmangan mit 83 Hunderttheilen Mangan nur 5,4 Hunderttheile.

Wegen des Umstandes, dass dem aufsteigenden Gasstrome durch den geringeren Erzsatz weniger Wärme als bei gewöhnlichem Betriebe entzogen wird, tritt eine starke Erhitzung des ganzen Ofens ein; verhüttet man aber Manganerze (Braunsteine), deren Sauerstoffgehalt grösser ist als der des Oxyds oder Oxyduloxyds, so werden sie schon im oberen Theile des Hochofens durch den heissen kohlenoxydreichen Gasstrom zu Oxyduloxyd oder unter Umständen zu Oxydul reducirt, ein Vorgang, welcher von einer beträchtlichen Wärmeerzeugung begleitet ist. Bei Reduction des Superoxyds MnO_2 durch Kohlenoxyd ist ein Wärmeverbrauch von 1348 W.-E. für 1 kg Sauerstoff, welcher den Erzen entzogen wird, erforderlich.[3]) Diesem Wärmeverbrauche steht eine Wärmeerzeugung durch Verbrennung des als Reduction dienenden Kohlenoxyds gegenüber. Da der chemische Vorgang nach der Formel $MnO_2 + CO = MnO + CO_2$ verläuft, entwickelt hierbei 1 kg Sauerstoff 4205 W.-E.[4]); der reine Wärmegewinn beträgt mithin 4205—1348 = 2867 W.-E. Da die Reduction der sauerstoffreicheren Manganerze

1) Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. XX, p. 290.

2) „Stahl und Eisen" 1882, Seite 223.

3) Die Ziffer ergiebt sich aus den auf Seite 48 gegebenen Mittheilungen. Die Wärmeentwickelung bei der Verbrennung von Manganoxydul zu Mangansuperoxyd beträgt 2115—1723 = 392 W.-E. für 1 kg Mangan; also für 1 kg Sauerstoff $^{55}/_{16} \times 392 = 1348$ W.-E.

4) Nach den Mittheilungen auf Seite 46 beträgt die Wärmeentwickelung bei Verbrennung von 1 kg Kohlenoxyd mit $^4/_7$ kg Sauerstoff 2403 W.-E.; mithin erzeugt 1 kg Sauerstoff $^7/_4 \times 2403 = 4205$ W.-E.

zu niedrigeren Oxydationsstufen im Kohlenoxydstrome schon bei einer Temperatur von 300° C. vor sich gehen kann, die Gase aber heiss in dem Ofen aufsteigen, findet jene Wärmeentwickelung vorwiegend in dem oberen Theile des Ofens statt; die Folge davon ist eine fernere Temperatursteigerung, d. h. eine Verstärkung des ohnehin durch den

Schlacken bei Darstellung von Eisenmanganen.

Name des Hochofenwerkes	SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO	MnO	FeO	K_2O, Na_2O	CaS	Silicirungsgrad	Bemerkungen
Reschitza	36,60	9,49	5,14	19,98	27,69	0,74	Sp.	0,23	1	Beim Betriebe auf Eisenmangan mit 34 Hunderttheilen Mn. Der verhältnissmässig geringe Kalkgehalt der Schlacke ist jedenfalls die Ursache der reichlicheren Verschlackung von Mangan (Kerpely, Ungarns Eisenerze u. s. w., S. 84).
Niederrheinisches Eisenwerk	30,04	14,84	1,37	31,24	17,00	0,33	n. best.	4,48	0,80	Beim Betriebe auf Eisenmangan mit 60 Hunderttheilen Mangan. Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. II, S. 312.
Hörde	26,50	8,10	8,30	42,40	10,76	n. best.	„	4,87	0,65	Beim Betriebe auf Eisenmangan mit 50 Hunderttheilen Mangan. Zeitschr. d. berg- u. hüttenm. Ver. f. Steiermark u. Kärnten 1880, S. 248.
Phönix bei Ruhrort (1878)	26,65	15,15	0,86	41,29	14,94	0,79	„	n. best.	0,60	Bei Darstellung von Eisenmangan mit 57 Hunderttheilen Mn. Im Laboratorium des genannten Eisenwerkes untersucht.
Ebenda (1880)	23,50	15,30	2,72	48,94	7,63	0,71	„	„	0,50	Bei Darstellung von Eisenmangan mit 66 Hunderttheilen Mn. Im Laboratorium des Eisenwerkes untersucht (auffällig ist hier der verhältnissmässig niedrige Mangangehalt).
Ebenda (1879)	17,88	6,88	—	27,38	44,65	0,50	„	„	0,45	Bei Darstellung von Eisenmangan mit 75 Hunderttheilen Mn. Im Laboratorium des Eisenwerkes untersucht.

reichlichen Brennstoffsatz hervorgerufenen Oberfeuers.[1]) Dieses Oberfeuer erschwert den Betrieb der Manganhochöfen. Es wirkt zerstörend auf die Schachtsteine, sofern sie nicht durch besondere Kühlungen geschützt sind, und ein öfteres Durchbrennen ist die Folge; im Vereine mit dem erwähnten starken Gichtrauche macht es das Abfangen und die Benutzung der Gichtgase schwieriger, da die Gichtgasfänge in der hohen Temperatur leichter zerstört werden und der Staubgehalt der Gase die Leitungen verstopft. In den ersten Jahren, nachdem

1) Bei dem Eisenwerk Hörde wurden im Jahre 1881 einige Ermittelungen über diese durch Anwendung sauerstoffreicher Manganerze hervorgerufene Temperatursteigerung angestellt. Die Oxydationsstufe der rohen Erze entsprach annähernd dem Verhältnisse Mn_5O_8. Die Temperatur der Gichtgase war bei drei Messungen zu verschiedenen Zeiten an zwei aufeinander folgenden Tagen 650°, 600° und 725°, durchschnittlich also 660° C. Bei Verhüttung der nämlichen Erze, welche jedoch durch vorausgehende Behandlung mit heissen Koksofengasen in Mn_3O_4 umgewandelt worden waren, während alle übrigen Betriebsverhältnisse unverändert blieben, betrug dagegen die Temperatur der Gichtgase 525°, 600°, 475° und 525°, durchschnittlich also 530° C. Die Temperaturerniedrigung bei Verhüttung der sauerstoffärmeren Erze war mithin 130° C.

man angefangen hatte, diese reichen Manganlegirungen zu erzeugen (Ende der siebziger und Anfang der achtziger Jahre dieses Jahrhunderts), liess man die Gase gewöhnlich unbenutzt an der Gicht entweichen, wo sie mit langer heisser Flamme verbrannten; jetzt fängt man sie wie andere Gichtgase auf, reinigt sie und mischt sie mit den Gasen andrer Hochöfen.

Je höher der Mangangehalt in der darzustellenden Legirung ausfallen soll, desto grösser wird der Manganverlust durch Verflüchtigung und Verschlackung, desto höher der erforderliche Brennstoffverbrauch, desto stärker das Oberfeuer und die daraus hervorgehenden Schwierigkeiten.

Es ist daher leicht erklärlich, dass der Selbstkostenpreis der gleichen Menge metallischen Mangans sich höher beziffert, wenn es in einer manganreicheren als wenn es in einer manganärmeren Legirung enthalten ist.

Um nicht bei Abstechen der Eisenmangane aus dem Hochofen Verlust durch Verbrennung zu erleiden, wird der Wind zuvor abgestellt; das Abstechen findet ohne Ausblasen des Herdes statt (vergl. die Beschreibung des Abstechens auf Seite 487).

c) Die Berechnung der Beschickung.

Die erste zu erfüllende Bedingung, um im Hochofen mit Erfolg schmelzen zu können, muss die Zusammenstellung der Erze und Zuschläge in solchen gegenseitigen Gewichtsverhältnissen sein, dass die erfolgende Schlacke den erforderlichen Grad der Schmelzbarkeit besitze und dass ihre Menge im Verhältnisse zu der des erfolgenden Roheisens weder zu knapp noch zu reichlich ausfalle.

Das Ziel lässt sich, wie es früher allgemein geschah, auf dem Wege des Versuches erreichen, indem man verschiedene Beschickungen zunächst im Tiegel probeweise schmelzt, bis der gewünschte Erfolg erreicht ist. Rascher aber gelangt man durch Berechnung zum Ziele.

Für die Benutzung dieses Verfahrens muss man sich bereits ein Urtheil darüber gebildet haben, welche Zusammensetzung der Schlacke am geeignetsten für die Darstellung dieser oder jener Roheisenart unter gegebenen Verhältnissen (Betrieb mit Holzkohlen oder Koks, Anwendung stärker oder weniger stark erhitzten Windes u. s. w.) ist. Analysen von Hochofenschlacken, welche unter bestimmten Betriebsverhältnissen gefallen waren, pflegen als Richtschnur hierbei zu dienen. Man trachtet darnach, die Beschickung in solcher Weise zusammenzustellen, dass eine der als Vorbild in's Auge gefassten Schlacke möglichst ähnliche Schlacke erfolge. Beispiele der Zusammensetzung von Hochofenschlacken, welche bei Darstellung der verschiedenen Roheisenarten erfolgten, sind oben gegeben. Da es nun aber bei der ziemlich grossen Zahl der in den Hochofenschlacken auftretenden Körper und der Mannigfaltigkeit in der Zusammensetzung der verhütteten Materialien nicht immer möglich sein würde, aus vorhandenen Erzen und Zuschlägen eine Beschickung zu berechnen, deren Zusammensetzung in allen Stücken genau mit derjenigen einer anderen Schlacke übereinstimmt, begnügt

man sich, eine Schlacke zu bilden, welche wenigstens in den wesentlichsten, die Schmelzbarkeit bedingenden Umständen jene Uebereinstimmung zeigt. Hierher gehört das Verhältniss der Kieselsäure und Thonerde zu den stärkeren Basen (Kalkerde und Magnesia); ausserdem auch, wenn irgend möglich, das gegenseitige Verhältniss der beiden genannten Basen. Es lässt sich im Betriebe häufig die Beobachtung machen und ist durch Åkermans Versuche (Seite 183) erwiesen, dass dieses gegenseitige Verhältniss von Kalkerde und Magnesia keineswegs gleichgültig für die Schmelzbarkeit der Schlacke ist; eine Schlacke mit zu hohem Magnesiagehalte ist sehr strengflüssig, während ein geringer Magnesiagehalt sie leichter schmelzbar macht.

Bei der Berechnung ist jedoch nicht allein die Zusammensetzung der Schlacke, sondern auch, wie schon erwähnt wurde, ihre Menge im Verhältnisse zu der Menge des erfolgenden Roheisens und das Ausbringen an Roheisen aus der Beschickung zu berücksichtigen. Je reichlicher die Schlackenmenge ist, desto mehr Wärme wird für ihre Schmelzung verbraucht, desto mehr Brennstoff muss auf Erzeugung jener Wärme verwendet werden; je geringer die Schlackenmenge ist, desto rascher ändert sie ihre Zusammensetzung bei vorkommenden Unregelmässigkeiten im Ofengange, desto empfindlicher ist der Ofen gegen jede Einwirkung, desto leichter tritt Rohgang ein. Ein Hochofenbetrieb ohne Schlacke ist überhaupt kaum denkbar. Im Allgemeinen wird man mit schlackenarmen Beschickungen leichter gewöhnliches Weisseisen als Graueisen oder Spiegeleisen darstellen können. Immerhin ist der Fall selten, dass man gezwungen ist, lediglich zur Vermehrung der Schlackenmenge entsprechende Zuschläge zu geben.

Bei Bilbaoer Eisenwerken, welche reine Bilbaoer Erze mit 47,5 Hunderttheilen Eisengehalt und 51,5 Hunderttheilen Ausbringen aus der Möllerung verarbeiten, soll das Gewichtsverhältniss der erfolgenden Schlacke zum Roheisen nicht grösser als 0,37 : 1 sein; bei steirischen und kärntnischen Eisenwerken, welche aus leicht reducirbaren Erzen mit Holzkohlen Weisseisen darstellen, ist das Verhältniss 0,6 : 1; bei Cleveländer Hochöfen, welche mit Koks auf Giessereiroheisen betrieben werden, 1,5 : 1; mitunter steigt es auf 2 : 1. Eine reichere Schlackenmenge als in dem letzteren Falle würde den Brennstoffverbrauch in einer Weise erhöhen, dass der Betrieb nicht mehr als wirthschaftlich vortheilhaft erscheinen kann.

Mit dem Schlackengehalte der Beschickung steht das Ausbringen an Roheisen aus dem Möller in naher Beziehung. In den meisten Fällen schwankt es zwischen 25 und 40 Hunderttheilen vom Möllergewichte. Bei jenen erwähnten alpinen Hochöfen steigt es mitunter bis fast auf 50 Hunderttheile; bei einem niedrigeren Ausbringen als 25 Hunderttheile dagegen wird man nur unter ganz besonderen Verhältnissen in der Lage sein können, einen nutzbringenden Betrieb zu führen.

Auch die Preise der verschiedenen zur Verhüttung bestimmten Erze und die Menge, in welcher sie bezogen werden können, müssen bei der Zusammenstellung der Beschickung berücksichtigt werden. Nicht immer lässt sich ein Erz in beliebiger Menge verwenden; sein Bezugspreis ist oft zu hoch, als dass seine reichliche Verwendung

wirthschaftlich zu rechtfertigen wäre, oder die verfügbare Menge ist beschränkt.

Endlich müssen auch der Phosphor- und Mangangehalt des erfolgenden Roheisens berücksichtigt werden. In einem Falle darf das Roheisen nur kleine Mengen Phosphor enthalten, um benutzbar zu sein (Bessemerroheisen), in einem zweiten Falle ist ein höherer Phosphorgehalt zulässig (Giesserei- und Puddelroheisen), in einem dritten Falle unentbehrlich (Thomasroheisen). Das Gleiche gilt vom Mangan. Der Phosphorgehalt der Erze geht annähernd vollständig, der Mangangehalt zur Hälfte bis zu zwei Dritteln in das Roheisen über.

Die Aufgabe, aus gegebenen Erzen und Zuschlägen eine Beschickung zu berechnen, aus welcher unter den besprochenen Bedingungen eine entsprechend zusammengesetzte Schlacke erfolgt, lässt in verschiedener Weise sich lösen.

Mrázeks stöchiometrisches Verfahren. Einer der ersten, welche ein Verfahren ersannen, um in thunlichst kurzer Zeit auch aus einer grösseren Zahl von Erzen und Zuschlägen eine zweckentsprechende Zusammenstellung zu bilden, war Mrázek.[1] Sein Verfahren ist etwas umständlich, und aus diesem Grunde wird es nicht gerade häufig angewendet. Dennoch ist seine Benutzung ziemlich leicht, sofern erst die als Unterlage für alle Fälle dienenden Rechnungen ausgeführt worden sind, und nicht selten hat es als Vorbild für das eine oder andere etwas vereinfachte Verfahren gedient. Aus diesem Grunde möge es hier als erstes Beispiel jener Verfahren für Berechnung der Beschickung beschrieben werden.

Mrázek ging bei seiner Berechnung von der früher allgemein verbreiteten Anschauung aus, dass in einer Schlacke die Bestandtheile, insbesondere Kieselsäure und Basen, sich nach Maassgabe der Molekülgewichte gegenüber stehen, dass die Basen sich in den Verhältnissen ihrer Molekülgewichte vertreten, und dass demnach die Berechnung einer Schlacke nur nach stöchiometrischen Grundsätzen erfolgen dürfe.

Auf Grund der durch genaue Durchschnittsanalysen ermittelten chemischen Zusammensetzung der Erze und Zuschläge, sowie auch der Koksasche wird demnach bei Mrázeks Verfahren eine Tabelle aufgestellt, welche folgende Einrichtung besitzt (s. Seite 537).

Die Spalten 1—5 enthalten die durch Analyse gefundene Menge der in einer Gewichtseinheit des Erzes, der Zuschläge, der Koksasche enthaltenen schlackengebenden Bestandtheile. Ist zu erwarten, dass ein Theil der Bestandtheile des Erzes ausser dem Eisen reducirt werde — z. B. ein Theil des Mangan- oder Siliciumgehaltes —, so ist hierauf Rücksicht zu nehmen. In den meisten Fällen wird man der Wahrheit ziemlich nahe kommen, wenn man annimmt, dass die Hälfte des Mangangehaltes verschlackt, die andere Hälfte reducirt werde. Die Reduction des Siliciums kann bei Weisseisendarstellung vernachlässigt werden; bei Graueisendarstellung wird man annehmen können, dass ein Kieselsäuregehalt, welcher $^1/_{25}$ des Eisengehaltes im Erze ausmacht (entsprechend etwa 2 Hundertheilen Silicium im Roheisen), reducirt

1) Jahrbuch der Bergakademieen zu Leoben, Přibram und Schemnitz, Band XVIII, Seite 282.

Stöchiometrische Erz- und Zuschlagstabelle der Eisenhütte zu

Benennung des Erzes, Zuschlages u. s. w.	1 Gewichtstheil enthält																	Stöchiometrische Aequivalente. Bedarf an Erz oder Zuschlag zur Einbringung von 1 Gewichtsth. des neben einem			
	Schlackengebende Bestandtheile							Sauerstoff der schlackengebenden Bestandtheile						Ueberschüssiger Sauerstoff neben einem				Singulosilikat		Bisilikat	
														Singulosilikat		Bisilikat		überschüssigen Sauerstoffs			
	MnO	CaO	MgO	Al_2O_3	SiO_2	Sa	Fe	MnO	CaO	MgO	Al_2O_3	Sauerstoff der Basen	Sauerstoff der SiO_2	in den Basen	in der Säure	in den Basen	in der Säure	in den Basen	in der Säure	in den Basen	in der Säure
												$B.$	$S.$	β	σ	β	σ	$\frac{1}{\beta}$	$\frac{1}{\sigma}$	$\frac{1}{\beta}$	$\frac{1}{\sigma}$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1. Liaserz (oolithisches Brauneisenerz)	0,007	—	—	0,065	0,156	0,228	0,428	0,0016	—	—	0,0305	0,0321	0,0832	—	0,0511	—	0,0190	—	19,59	—	52,62
2. Spatheisenstein .	0,023	0,159	0,085	—	0,011	0,278	0,226	0,0051	0,0154	0,0340	—	0,0845	0,0059	0,0786	—	0,0815	—	12,72	—	12,27	—
3. Rasenerz . . .	0,003	0,012	—	0,010	0,095	0,120	0,403	0,0007	0,0034	—	0,0047	0,0088	0,0506	—	0,0418	—	0,0330	—	23,92	—	30,30
4. Kalkstein . . .	—	0,518	—	—	0,021	0,539	—	—	0,1480	—	—	0,1480	0,0112	0,1368	—	0,1424	—	7,31	—	7,02	—
5. Koksasche . .	—	0,2000	—	0,150	0,500	0,850	0,1000	—	0,0571	—	0,0705	0,1276	0,2664	—	0,1388	—	0,0112	—	7,20	—	89,28

werde; bei einigermaassen beträchtlicher Schlackenmenge wird man jedoch auch hierbei die Reduction des Siliciums vernachlässigen können, da die ganze Berechnung wegen der mancherlei vorkommenden unberechenbaren Vorgänge im Hochofen (Verflüchtigung verschiedener Körper in Form von Chloriden, Cyaniden, Sulfiden, Zurückbleiben unreducirten Eisens in den Schlacken u. s. w.) immerhin nur Annäherungswerthe zu liefern im Stande ist, welche später durch den Versuch Ausgleichung finden müssen.

Spalte 6 enthält die Summe sämmtlicher schlackenbildender Bestandtheile, Spalte 7 den Eisengehalt (welchem bei Reduction beträchtlicher Mengen Mangan dieses hinzuzurechnen sein würde). Beide Spalten ermöglichen später die Ermittelung des Verhältnisses zwischen Schlacke und Eisen in einer berechneten Beschickung, sowie des Eisenausbringens.

In den Spalten 8—13 folgen die Sauerstoffgehalte der in den Spalten 1 — 5 aufgeführten Gewichtsmengen der einzelnen Körper. Eine Zusammenzählung der in den Spalten 8 — 11 enthaltenen Ziffern ergiebt die Ziffer für Spalte 12, d. h. den gesammten in Basen auftretenden Sauerstoff (mit B bezeichnet), während Spalte 13 (S) den Sauerstoffgehalt der Kieselsäure angiebt. Das Verhältniss $\frac{S}{B}$ bezeichnet den Silicirungsgrad des betreffenden Erzes, Zuschlages u. s. w.

Hieraus lassen sich nun die Ziffern für die Spalten 14—17 berechnen, welche angeben, wie viel Sauerstoff entweder die Basen oder die Kieselsäure des betreffenden Erzes u. s. w. überschüssig enthalten, wenn irgend ein vorgeschriebenes Silikat gebildet werden soll. In der als Beispiel benutzten Tabelle ist die Rechnung für Singulosilikat- und für Bisilikatbildung durchgeführt worden; mit derselben Leichtigkeit würde sie für Subsilikat, Sesquisilikat und jede andere Silicirungsstufe, entsprechend der Zusammensetzung der zu bildenden Schlacke, sich haben anstellen lassen.

Bei dem unter 1 aufgeführten Liaserze z. B. beträgt nach Spalte 12 der Sauerstoff der Basen 0,0321, nach Spalte 13 der Sauerstoff der Kieselsäure 0,0832 Gewichtstheile in 1 Gewichtstheil Erz. Für Bildung einer Singulosilikatschlacke, in welcher der Sauerstoffgehalt der Basen gleich dem der Kieselsäure sein soll, besitzt demnach das Erz überschüssigen Sauerstoff der Kieselsäure, und zwar 0,0832 — 0,0321 = 0,0511 Gewichtstheile; diese Ziffer kommt in Spalte 15. Soll dagegen Bisilikatschlacke gebildet werden, bei welcher der Sauerstoffgehalt der Kieselsäure doppelt so gross ist als der der Basen, so würden für die 0,0321 Gewichtstheile Basensauerstoff 2 × 0,0321 = 0,0642 Gewichtstheile Sauerstoff der Kieselsäure erforderlich sein; es ist also immer noch ein Ueberschuss des Sauerstoffs der Kieselsäure = 0,0832—0,0642 = 0,0190 Gewichtstheile vorhanden (Spalte 17).

Bezeichnet man (wie in der Tabelle bereits geschehen) die Ziffern der Spalte 12 allgemein mit B, der Spalte 13 mit S, der Spalte 14 und 16 mit β, der Spalte 15 und 17 mit σ, so hat man

für $^2/_3$ Silikatbildung $\beta = B - 1^1/_2\,S$
$\sigma = S - {}^2/_3\,B$

für Singulosilikatbildung $\beta = B - S$
$\sigma = S - B$

für Sesquisilikatbildung $\beta = B - {}^2/_3\, S$

$\sigma = S - 1{}^1/_2\, B$

für Bisilikatbildung $\beta = B - {}^1/_2\, S$

$\sigma = S - 2\, B$

allgemein für die Bildung eines Silikates, in welchem das Verhältniss des Sauerstoffgehaltes der Kieselsäure zu dem der Basen = n ist:

$$\beta = B - \frac{1}{n} S$$

$$\sigma = S - n\, B.$$

Als gegenseitige Werthe $\left(\frac{1}{\beta}, \frac{1}{\sigma}\right)$ der Ziffern in den soeben besprochenen Spalten ergeben sich nun durch einfache Theilung die Ziffern der Spalten 18 — 21. Sie geben an, wieviel Gewichtstheile des Erzes, Zuschlages u. s. w. erforderlich sind, um 1 Gewichtstheil des neben einem Singulosilikate, Bisilikate u. s. w. überschüssigen Sauerstoffs in die Beschickung zu bringen. Wenn 1 Gewichtstheil Erz β Gewichtstheile Sauerstoff in den Basen mehr enthält, als zur Bildung eines vorgeschriebenen Silikates nothwendig ist, so bedarf man offenbar, um 1 Gewichtstheil dieses überschüssigen Basensauerstoffs in die Beschickung zu bringen, $\frac{1}{\beta}$ Gewichtstheile des betreffenden Erzes; die nämliche Beziehung ergiebt sich, wenn das Erz nicht überschüssigen Basensauerstoff, sondern Kieselsäuresauerstoff enthält. Das Liaserz Nr. 1 enthält für Singulosilikatbildung in 1 Gewichtstheil Erz 0,0511 überschüssigen Kieselsäuresauerstoff; zur Einbringung von 1 Gewichtstheil dieses überschüssigen Kieselsäuresauerstoffs sind demnach $\frac{1}{0{,}0511} = 19{,}59$ Gewichtstheile Erz erforderlich (Spalte 19).

Die Ziffern dieser Spalten, in der Ueberschrift als stöchiometrische Aequivalente bezeichnet, geben also diejenigen Gewichtsmengen der verschiedenen Erze u. s. w. an, durch welche bei bestimmter Silikatbildung die gleichen Mengen Sauerstoff in die Beschickung geführt werden. Alle in derselben Spalte erscheinenden Ziffern sind betreffs der Silikatbildung einander gleichwerthig; sie geben an, wieviel des einen Erzes u. s. w. erforderlich ist, um ein anderes zu ersetzen, ohne dass eine Aenderung in dem Kieselsäuregehalte der erfolgenden Schlacke eintritt.

Jedes basische Aequivalent giebt mit so vielen Säureäquivalenten, als der Silicirungsgrad der zu bildenden Schlacke angiebt, eine Schlacke von dem verlangten Silicirungsgrade. Für Singulosilikatbildung (Spalten 18 und 19) hat man je ein basisches Aequivalent mit je einem Säureäquivalente zusammenzustellen, für Bisilikatbildung (Spalten 20 und 21) je ein basisches Aequivalent mit je zwei Säureäquivalenten, u. s. f.

Die Tabelle zeigt uns z. B. sofort, dass es ohne Anwendung sonstiger Zuschläge möglich ist, aus den unter 1 und 2 aufgeführten Erzen eine Singulo- wie eine Bisilikatschlacke zu bilden; in beiden Fällen liefert das Liaserz Nr. 1 das Säureäquivalent, der Spatheisenstein Nr. 2 das basische Aequivalent.

Für Singulosilikatschlacke ist ein Aequivalent oder 19,59 Gewichtstheile Liaserz mit einem Aequivalent oder 12,72 Gewichtstheilen Spatheisenstein zu vereinigen.[1])

Beweis.

19,59	Gewichtstheile Liaserz enthalten Sauerstoff der Basen 19,59 × 0,0321	0,629
12,72	Gewichtstheile Spatheisenstein enthalten Sauerstoff der Basen 12,72 × 0,0845	1,075
		1,704
19,59	Gewichtstheile Liaserz enthalten Sauerstoff der Kieselsäure 19,59 × 0,0832	1,629
12,72	Gewichtstheile Spatheisenstein enthalten Sauerstoff der Kieselsäure 12,72 × 0,0059	0,075
		1,704.

Für Bisilikatschlacke sind zwei Aequivalente oder 2 × 52,62 = 105,24 Gewichtstheile des Liaserzes mit einem Aequivalente oder 12,27 Gewichtstheilen des Spatheisensteines zu vereinigen.

Beweis.

105,24	Gewichtstheile Liaserz enthalten Sauerstoff der Basen 105,24 × 0,0321	3,378
12,27	Gewichtstheile Spatheisenstein enthalten Sauerstoff der Basen 12,27 × 0,0845	1,036
		4,414
105,24	Gewichtstheile Liaserz enthalten Sauerstoff der Kieselsäure 105,24 × 0,0832	8,756
12,27	Gewichtstheile Spatheisenstein enthalten Sauerstoff der Kieselsäure 12,27 × 0,0059	0,072
		8,828.

Da die Zusammensetzung der einzelnen Erze bekannt und, soweit sie die schlackenbildenden Bestandtheile betrifft, in den Spalten 1—5 enthalten ist, lässt sich leicht auch die gesammte Zusammensetzung der Schlacke berechnen, nachdem man die Beschickung in der soeben erläuterten Weise zusammengestellt hat. Jene Singulosilikatschlacke aus 19,59 Gewichtstheilen Liaserz und 12,72 Gewichtstheilen Spatheisenstein würde z. B. enthalten:

MnO aus dem	Liaserz 19,59 × 0,007 . . .	0,137 Gewichtsthle.	
„ „ „	Spatheisenstein 12,72 × 0,023	0,292 „	0,429 Gewichtsthle.
CaO „ „	Liaserz 19,59 × 0,000		
„ „ „	Spatheisenstein 12,72 × 0,159		2,022 „
MgO „ „	Liaserz 19,59 × 0,000		
„ „ „	Spatheisenstein 12,72 × 0,085		1,081 „
Al_2O_3 „ „	Liaserz 19,59 × 0,065		1,273 „
„ „ „	Spatheisenstein 12,72 × 0,000		
SiO_2 „ „	Liaserz 19,59 × 0,156 . . .	3,057 Gewichtsthle.	
„ „ „	Spatheisenstein 12,72 × 0,0011	0,139 „	3,196 „
			8,001 Gewichtsthle.

32,31 Gewichtstheile Beschickung aus den beiden Erzsorten liefern mithin 8,001 Gewichtstheile Schlacke, deren Zusammensetzung sich

1) Wenn der Spatheisenstein, wie es gewöhnlich der Fall ist, nicht im rohen, sondern im gerösteten Zustande verhüttet wird, so muss selbstverständlich auch die chemische Zusammensetzung des gerösteten Steines der Berechnung zu Grunde gelegt werden.

nunmehr ohne Schwierigkeit berechnen lassen würde. Handelt es sich nur darum, die Gesammtmenge der erfolgenden Schlacke, nicht ihre Zusammensetzung, zu ermitteln, so würde man kürzer durch Benutzung der in Spalte 6 enthaltenen Ziffern zum Ziele gelangt sein. Das Verhältniss der Thonerde zu den übrigen Basen in der Schlacke beträgt 1,273 : 3,532 = 1 : 2,7.[1])

Der Eisengehalt der berechneten Beschickung würde betragen (Spalte 7):

19,59 × 0,428	8,384 Gewichtstheile
12,72 × 0,226	2,874 „
32,31 Gewichtstheile Beschickung enthalten	11,258 Gewichtstheile,
	d. i. 34,8 Hunderttheile Eisen.

Das Ausbringen an Roheisen würde sich wegen dessen Kohlenstoffgehaltes etwas höher beziffern und etwa 36 Hunderttheile betragen. Das Verhältniss der erfolgenden Schlackenmenge zum Eisen ist 8,001 : 11,258 = 0,7 : 1 und lässt sich demnach als für den Betrieb günstig bezeichnen.

Geschieht die Verhüttung mit Brennstoffen, welche bedeutende Aschenmengen hinterlassen, so muss man diesen Aschengehalt bei der Berechnung berücksichtigen. Es kann dieses in folgender Weise geschehen. Man ermittelt die Menge des Aschengehaltes, sowie dessen chemische Zusammensetzung und trägt die letztere ebenso wie die der übrigen Bestandtheile der Beschickung in die Tabelle ein (vergl. die oben mitgetheilte Tabelle). Nun veranschlagt man den zur Verhüttung von 100 kg Erzen und Zuschlägen erforderlichen Koksverbrauch, welcher in den meisten Fällen 30—40 kg, durchschnittlich also 35 kg betragen wird, und berechnet hiernach den Koksverbrauch zur Verhüttung der die berechnete Beschickung bildenden Erz- und Zuschlagsmengen. Aus dem Koksverbrauche ergiebt sich die erfolgende Aschenmenge, und man hat dann nur nöthig, aus der Tabelle zu entnehmen, welche Menge eines entgegengesetzt zusammengesetzten Erzes oder Zuschlages für ihre Verschlackung erforderlich ist.

Es möge z. B. die Verhüttung der oben für Singulosilikatschlacke berechneten, aus 19,59 Gewichtstheilen Liaserz und 12,72 Gewichtstheilen Spatheisenstein bestehenden Beschickung mit Koks bewirkt werden, deren Aschengehalt 10 Hunderttheile beträgt, und die chemische Zusammensetzung der Koksasche entspreche den in Reihe 5 der früheren Tabelle enthaltenen Ziffern. 32,21 Gewichtstheile Beschickung werden zu ihrer Verhüttung etwa 12 Gewichtstheile Koks erfordern, welche 1,2 Gewichtstheile Asche liefern. Bei Singulosilikatbildung sind 7,2 Gewichtstheile Koksasche ein Säureäquivalent (Spalte 19), 1,2 Gewichtstheile Koksasche mithin $1/6$ Aequivalent. Es ist also $1/6$ basisches Aequivalent zur Verschlackung der Koksasche erforderlich; benutzt man hierzu wiederum den Spatheisenstein, so würden demnach noch $1/6 \times 12,72 =$ 2,12 Gewichtstheile Spatheisenstein mehr, als oben berechnet wurde, in die Beschickung geführt werden müssen, und diese besteht dann aus

19,59 Gewichtstheilen Liaserz,
14,84 „ Spatheisenstein.

1) Ueber die Einflüsse des Thonerdegehaltes der Silikate auf die Schmelzbarkeit der Schlacken vergl. Seite 184.

Hält man es aus irgend einem Grunde für zweckmässiger, die Verschlackung nicht durch Vermehrung des Spatheisensteines, sondern durch einen besonderen Zuschlag von Kalkstein zu bewirken, dessen Zusammensetzung in der Reihe 4 aufgeführt ist, so würden, da dessen Aequivalent für Singulosilikatbildung = 7,31 ist (Spalte 18), $^1/_6 \times 7{,}31 = 1{,}22$ Gewichtstheile Kalkstein der Beschickung zugeschlagen werden müssen.

Will man auch den Schwefelgehalt der mineralischen Brennstoffe berücksichtigen, welcher zum grossen Theile in die Schlacke geht und hierbei einen Theil des Calciumgehaltes bindet, so kann dieses folgendermaassen geschehen. 1 Theil Schwefel erfordert 0,8 Theile Calcium, welche 1,12 Theilen Kalkerde mit 0,32 Theilen Sauerstoff in der Beschickung entsprechen. Diese 1,12 Theile Kalkerde müssen durch Vermehrung der basischen Bestandtheile gedeckt werden. Enthalten z. B. die in dem soeben berechneten Beispiele erforderlichen 12 Gewichtstheile Koks 2 Hunderttheile Schwefel, so betrüge ihr Gesammtschwefelgehalt 0,024 Gewichtstheile, und um diesen zu binden, würde die Beschickung so viel basische Bestandtheile mehr, als berechnet worden war, enthalten müssen, dass dadurch $0{,}024 \times 0{,}32 = 0{,}008$ Gewichtstheile Sauerstoff zugeführt würden. Die Menge des berechneten Spatheisensteines würde sich demnach in diesem Falle noch um $0{,}008 \times 12{,}72 = 0{,}1$ Gewichtstheil vermehren. Hierbei ist angenommen, dass der Schwefelgehalt der Koks vollständig in die Schlacke geht, was jedoch nicht der Fall ist; dagegen pflegen auch die Erze einen kleineren oder grösseren Schwefelgehalt zu liefern. Immerhin sind, wie man sieht, auch die durch einen verhältnissmässig reichlichen Schwefelgehalt bedingten Aenderungen in der Zusammensetzung der Beschickung nicht sehr erheblich und können meistens vernachlässigt werden.

Ueber das Verhältniss des Kalkerdegehaltes zum Magnesiagehalte der erfolgenden Schlacke, welches für deren Schmelzbarkeit nach S. 184 bedeutungsvoll ist, kann man sich ohne Schwierigkeit Rechenschaft geben, sobald die Beschickung berechnet worden ist; ebenso über den Phosphorgehalt des erfolgenden Roheisens. Man legt hier am einfachsten die Annahme zu Grunde, dass der Phosphorgehalt der Erze vollständig in das Eisen übergehe, was wenigstens annähernd zutrifft.

In derselben Weise, wie in dem vorstehenden Beispiele eine Beschickung aus nur zwei Erzen beschrieben wurde, lässt sich eine Beschickung aus beliebig vielen Erzen und Zuschlägen zusammensetzen, sofern man die Regel befolgt, dass die Summe sämmtlicher Säureäquivalente sich zu der Summe sämmtlicher basischen Aequivalente verhält, wie es die durch den Silicirungsgrad der zu bildenden Schlacke angegebene Verhältnisszahl vorschreibt. Je ein basisches Aequivalent muss bei Singulosilikatbildung durch ein, bei Bisilikatbildung durch zwei, bei Zweidrittelsilikatbildung durch $^2/_3$ Säureäquivalente gedeckt werden, u s. f. Treten hierbei mehrere basische oder mehrere saure Schmelzmaterialien neben einander auf, so muss ihr zweckmässigstes gegenseitiges Verhältniss unter einander nach ihren sonstigen Eigenthümlichkeiten bemessen werden. Hierher gehört ihr verschiedener Thonerdegehalt in Rücksicht auf den Umstand, dass der Thonerdegehalt der Schlacke weder zu beträchtlich noch zu gering ausfallen darf, wenn sie nicht zu strengflüssig

werden soll; dasselbe ist hinsichtlich des Verhältnisses der Magnesia zur Kalkerde der Fall. Sodann kommt der Eisengehalt der berechneten Beschickung in Betracht, sowie das Verhältniss der erfolgenden Schlacke zu dem Roheisen; ferner die Menge der fremden Bestandtheile — Phosphor, Mangan, unter Umständen Schwefel —, welche dem Roheisen aus dem einen oder andern Erze zugeführt werden und seine Eigenschaften beeinflussen. Endlich darf auch, wie schon oben erwähnt wurde, das Preisverhältniss der einzelnen zur Verhüttung stehenden Erze und Zuschläge nicht unberücksichtigt bleiben, von welchem sehr wesentlich der Preis des erfolgenden Roheisens abhängt.

Es liege z. B. die Aufgabe vor, aus dem Liaserze (Nr. 1), und dem Rasenerze (Nr. 3) unter Zuschlag von Kalkstein eine Beschickung für Bisilikatschlacke zusammenzustellen, in welcher das Verhältniss der Thonerde zur Kalkerde nebst Magnesia nicht mehr als höchstens $^1/_3$ beträgt. Auch von dem Spatheisenstein kann, sofern es sich als zweckmässig herausstellen sollte, eine entsprechende Menge in Mitverwendung genommen werden.

Für Bisilikatbildung muss je ein basisches Aequivalent zwei Säureäquivalenten gegenüberstehen. In dem vorliegenden Falle treten, wie die Spalten 20 und 21 nachweisen, das Liaserz und das Rasenerz als Säureäquivalente, der Kalkstein und der Spatheisenstein als basische Aequivalente auf; ohne Zusatz eines der beiden zuletzt genannten Materialien würde mithin die Verhüttung der Lias- und Rasenerze mit Bisilikatbildung überhaupt nicht möglich sein.

Stellt man zunächst versuchsweise eine Beschickung ohne Spatheisenstein und je 1 Aequivalent der beiden Erze enthaltend zusammen, so besteht diese aus:

1 Aequivalent Liaserz	52,62 Gewichtstheile
1 „ Rasenerz	30,30 „
2 Aequivalente	
1 Aequivalent Kalkstein	7,02 „
	89,94 Gewichtstheile.

Der Gehalt an Al_2O_3 einerseits, sowie an $CaO + MgO$ andererseits in dieser Beschickung beträgt:

	Al_2O_3	CaO, MgO
52,62 Gewichtstheile Liaserz enthalten	3,42 Gewichtstheile	— Gewichtstheile
30,30 „ Rasenerz „	0,30 „	0,36 „
7,02 „ Kalkstein „	— „	3,63 „
	3,72 Gewichtstheile	3,99 Gewichtstheile.

Das Verhältniss der Thonerde zur Kalkerde u. s. w. ist also viel zu hoch. Die Menge des Liaserzes muss bedeutend abgemindert, die des Rasenerzes erhöht werden.

Nimmt man von ersterem nur 0,2 Aequivalent, so besteht nunmehr die Beschickung aus:

		Al_2O_3	CaO, Mg
0,2 Aequiv. Liaserz	= 10,52 Gewichtstheile mit	0,68 Gewichtsthln.,	— Gewichtsthln.
1,8 „ Rasenerz	= 54,54 „ „	0,54 „	0,65 „
2,0 Aequiv.			
1,0 „ Kalkstein	= 7,02 „ „	— „	3,63 „
	72,08 Gewichtstheile mit	1,22 Gewichtsthln.,	4,28 Gewichtsthln

und es hat sich demnach jenes Verhältniss auf 1 : 3,5 ermässigt.

Der Eisengehalt dieser zuletzt berechneten Beschickung würde betragen:

10,52	Gewichtstheile	Liaserz enthalten Fe . .	4,50	Gewichtstheile
54,54	„	Rasenerz „ „ . .	21,97	„
7,02	„	Kalkstein „ „ . .	—	„
72,08	Gewichtstheile	Beschickung enthalten Fe	26,47	Gewichtstheile

oder etwa 36,7 Hunderttheile.

Unter Berücksichtigung des Kohlenstoffgehaltes ist also ein Roheisenausbringen von etwa 38 Hunderttheilen zu erwarten, und die Beschickung würde in dieser Beziehung als vollkommen schmelzwürdig erscheinen, ohne dass eine Anreicherung des Eisengehaltes — etwa durch Ersatz des Kalksteines durch Spatheisenstein — nothwendig erschiene. Eine andere Veranlassung dazu könnte jedoch der Umstand sein, dass jene Lias- und Rasenerze reich an Phosphor wären und eine Abminderung des Phosphorgehaltes als nothwendig oder wünschenswerth erschiene. Das Liaserz möge 0,5 Hunderttheile Phosphor, das Rasenerz 0,6 Hunderttheile Phosphor enthalten. Der Phosphorgehalt des erfolgenden Roheisens wird demnach betragen:

10,52	Gewichtstheile	Liaserz liefern Phosphor . .	0,052	Gewichtstheile
54,54	„	Rasenerz „ „ . .	0,327	„
			0,379	Gewichtstheile.

Die 0,379 Gewichtstheile Phosphor werden von 26,47 Gewichtstheilen Eisen, welche der oben angestellten Berechnung zufolge in den Erzen enthalten sind, aufgenommen; der Gehalt des erfolgenden Roheisens an Phosphor wird mithin etwa 1,4 Hunderttheile betragen.

Der Spatheisenstein sei frei von Phosphor. Ersetzt man nun versuchsweise den gesammten Zuschlagskalkstein durch eine gleichwerthige Menge Spatheisenstein, so erhöht man das Eisenausbringen der Beschickung und erniedrigt auf diese Weise den Phosphorgehalt des erfolgenden Eisens. Man erhält alsdann folgende neue Beschickung:

			Al_2O_3	CaO, Mg	Fe	P
0,2 Aequiv. Liaserz	= 10,52	Gewichtstheile mit	0,68	—	4,50	0,052
1,8 „ Rasenerz	= 54,54	„ „	0,54	0,65	21,97	0,327
1 „ Spatheisenstein	= 12,27	„ „	—	2,99	2,77	—
Zusammen Beschickung	77,33	Gewichtstheile mit	1,22	3,64	29,24	0,379

Verhältniss der Thonerde zu Kalk und Magnesia = 1 : 3,
Eisengehalt der Beschickung 37,8 Hunderttheile,
Phosphorgehalt des Eisens etwa 1,3 „

Die Abminderung des Phosphorgehaltes würde mithin in diesem Falle nicht erheblich sein. Als Giessereiroheisen aber wäre das Erzeugniss immerhin benutzbar, sofern der Mangangehalt nicht zu hoch ausfällt. Wenn der in der Tabelle auf Seite 537 angegebene Manganoxydulgehalt die Hälfte des gesammten im Erze anwesenden Gehaltes ausmacht und die andere Hälfte reducirt in das Roheisen übergeht, so würde dieses bei Verhüttung der Beschickung ohne Spatheisenstein etwa 0,5 Hunderttheile, bei Verhüttung der Beschickung mit Spatheisenstein etwa 1,4 Hunderttheile Mangan enthalten. Das erstere, manganärmere Roheisen würde für die meisten Zwecke der Giesserei den Vorzug verdienen.

Es würde dann noch die Frage entstehen, wie sich die Kosten der beiden berechneten Beschickungen gegen einander verhalten. Ein Vergleich in dieser Beziehung ist nur möglich, wenn man diese Kosten

nicht auf die Gewichtseinheit der Beschickung, sondern auf die Gewichtseinheit des in der Beschickung enthaltenen Eisens bezieht. Beispielsweise mögen die Kosten der verschiedenen Erze einschliesslich der Fracht nach der Hütte folgende sein:

für 1000 kg	Liaserz	9 ℳ
„ 1000 „	Rasenerz	6 „
„ 1000 „	Spatheisenstein	8 „
„ 1000 „	Kalkstein	4 „

so kosten bei der zuerst berechneten Beschickung ohne Spatheisenstein:

10,52 kg	Liaserz	mit 4,50 kg Eisen	0,095 ℳ
54,54 „	Rasenerz	„ 21,97 „ „	0,327 „
7,02 „	Kalkstein	„ — „ „	0,028 „
		26,47 kg Eisen	0,450 ℳ

26,47 kg Eisen in der Beschickung kosten 0,450 ℳ also 1000 kg Eisen 17 ℳ.

Bei der zweiten Beschickung mit Spatheisenstein würden die Kosten betragen:

10,52 kg	Liaserz	mit 4,50 kg Eisen	0,095 ℳ
54,54 „	Rasenerz	„ 21,97 „ „	0,327 „
12,27 „	Spatheisenstein	„ 2,77 „ „	0,098 „
		29,24 kg Eisen	0,520 ℳ

also würden 1000 kg Eisen in der Beschickung 17 ℳ 78 ₰. kosten, d. i. 78 ₰. mehr als in der ersten phosphorreicheren Beschickung, und um annähernd ebensoviel würde sich der Selbstkostenpreis des erfolgenden Roheisens erhöhen. Man würde in diesem Falle von der Verwendung des Spatheisensteines voraussichtlich absehen.

Eine solche Bisilikatschlacke, wie hier berechnet wurde, ist nur bei Holzkohlenbetrieb möglich. Bei dem Betriebe mit Koks müsste ein Singulosilikat oder eine noch basischere Schlack gebildet und der Aschengehalt der Koks berücksichtigt werden. Der hierbei einzuschlagende Weg ist durch die schon gegebenen Beispiele genügend gekennzeichnet.

Wo eine Tabelle mit den sämmtlichen für die Verhüttung bestimmten Schmelzmaterialien einmal berechnet worden ist, lässt sich, wie die Beispiele beweisen, in kurzer Zeit eine Beschickung für eine vorgeschriebene Zusammensetzung der Schlacke berechnen; oder wo die Beschaffenheit der zu gattirenden Erze es überhaupt unmöglich macht, diese oder jene Schlacke zu bilden, giebt die Tabelle sofort den Nachweis darüber.

Ebenso leicht als die Berechnung ganz neuer Beschickungen lassen sich Aenderungen vorhandener Beschickungen mit Hülfe der Tabelle vornehmen, wenn z. B. der Vorrath einer Erzsorte zu Ende geht, wenn ein neues Erz in die Beschickung eingeschaltet werden soll, wenn der Phosphorgehalt abgemindert oder der Mangangehalt erhöht werden soll, und dergleichen mehr. Im Betriebe kommt dieser Fall noch häufiger vor als die Berechnung einer neuen Beschickung, und die Lösung dieser Aufgabe ist insofern leichter, als hier gewöhnlich bereits eine Schlacke von bewährter Zusammensetzung vorhanden ist und es also nur darauf ankommt, die Zusammensetzung der Beschickung zu ändern, ohne dass die Zusammensetzung der Schlacke wesentliche Aenderungen erfährt. In allen derartigen Fällen bleibt der Silicirungsgrad der Schlacke derselbe, sofern man die verschiedenen

Erze oder Zuschläge in dem Gewichtsverhältnisse, in welchem ihre stöchiometrischen Aequivalente zu einander stehen, sich gegenseitig vertreten lässt. 19,59 Gewichtstheile Liaserz sind bei Singulosilikatbildung, wie Spalte 19 der mitgetheilten Tabelle ohne Weiteres angiebt, gleichwerthig mit 23,92 Gewichtstheilen Rasenerz; enthält also eine Beschickung 25 Gewichtstheile Liaserz, welche durch Rasenerz ersetzt werden sollen, so würden dazu $\frac{23{,}92}{19{,}59} \times 25 = 30{,}5$ Gewichtstheile des letztern Erzes erforderlich sein. Der Silicirungsgrad der Schlacke würde in diesem Falle also unverändert bleiben; der Thonerdegehalt der Beschickung aber würde, wie sich leicht erkennen lässt, bei dem Ersatze des Liaserzes durch Rasenerz geringer ausfallen. Soll dieses vermieden werden, so würde ein Zusatz eines thonerdereicheren Materials, etwa Thonschiefer, erforderlich sein, und sobald dessen Zusammensetzung und Aequivalentzahl ermittelt worden ist, würde die Tabelle wiederum erkennen lassen, in welcher Weise ein solcher Zusatz sich ermöglichen lässt.[1])

Platzs vereinfachtes Verfahren. Mrázeks vorstehend besprochene Berechnungsweise der Beschickung wird besonders durch die erforderliche Berechnung der Sauerstoffgehalte und der erst aus diesen sich ergebenden stöchiometrischen Aequivalente umständlich. Die Berechnung wird wesentlich einfacher, wenn man davon absieht, eine bestimmte Silicirungsstufe zu bilden und sich, wie Platz vorschlägt[2]), darauf beschränkt, ein bestimmtes gegenseitiges Gewichtsverhältniss zwischen Kieselsäure nebst Thonerde einerseits und den Basen von der allgemeinen Formel RO (CaO, MgO, MnO, FeO, auch BaO, SrO) herzustellen. Dass diese Basen sich keineswegs nach dem Verhältnisse ihrer Molekülgewichte in den Silikaten gegenseitig ersetzen können, ohne dass die Schmelzbarkeit der Silikate sich ändert, folgt aus dem über die Schmelzbarkeit der Schlacken gegebenen Mittheilungen (Seite 179 bis 187); stellt man sich auf den Boden dieser Thatsache, so fällt auch die Nothwendigkeit weg, die Silicirungsstufe einer Schlacke als Ausgangspunkt für die Berechnung der Beschickung zu wählen. Dass die Kieselsäure und die Thonerde einer Schlacke sich wenigstens insofern zu ersetzen vermögen, als bei zunehmendem Thonerdegehalte die Schmelztemperatur der Silikate um so früher auf der niedrigsten Stufe anlangt, je höher ihr Kieselsäuregehalt ist, um dann wieder zu steigen, ergiebt sich aus den Schaulinien der Fig. 50 auf Seite 185. Achtet man also bei der Zusammenstellung der Beschickung darauf, dass auch das Verhältniss zwischen Kieselsäure und Thonerde sich innerhalb derjenigen Grenzen bewege, welche durch die Zusammensetzung vorhandener Schlacken von bewährter Schmelzbarkeit gegeben sind, so ist nicht zu bezweifeln, dass man auch auf diesem einfacheren Wege zu einem befriedigenden Ergebnisse gelangen kann.

1) Ueber ein von Balling vorgeschlagenes Verfahren zur Vereinfachung der Berechnung durch Aufzeichnung rechtwinkliger Dreiecke, deren Kathetenlängen dem Verhältnisse zwischen Kieselsäure und Base entsprechen, vergl. Carl A. M. Balling, Compendium der metallurgischen Chemie, Bonn 1882, Seite 99; auch Th. Beckert, Leitfaden zur Eisenhüttenkunde, Berlin 1885, Seite 192.

2) „Stahl und Eisen" 1892, Seite 2.

Bei der Berechnung bezieht man das Verhältniss der Basen (einschliesslich des an Schwefel gebundenen Calciums) zur Kieselsäure nebst Thonerde in der zu bildenden Schlacke auf 100 Gewichtstheile. Enthält z. B. eine Schlacke, welche als Vorbild für die anzustrebende Zusammensetzung dienen soll, 48,5 Hunderttheile Kieselsäure und Thonerde, 47,5 Hunderttheile Basen, 4 Hunderttheile Schwefelcalcium, so würden für diese 4 Theile Schwefelcalcium 3 Theile Kalkerde einzusetzen sein, welche ungefähr die gleiche Menge Ca enthalten. In 100 Theilen Sauerstoffverbindungen (einschliesslich jener 3 Theile Kalkerde) sind demnach 49 Hunderttheile Kieselsäure nebst Thonerde und 51 Hunderttheile Basen enthalten. Wenn nun beispielsweise das in der Tabelle auf Seite 537 unter 1 aufgeführte Liaserz mit dem unter 4 aufgeführten Kalkstein beschickt und dabei eine Schlacke von der angegebenen Zusammensetzung gebildet werden soll, so kann die Rechnung folgendermaassen ausgeführt werden:

100 Theile Liaserz enthalten an schlackengebenden Bestandtheilen[1]) nach Maassgabe der Tabelle

SiO_2	Al_2O_3	MnO	CaO	MgO
15,6	6,5	0,7	—	—

also $SiO_2 + Al_2O_3 = 22{,}1$ Gewichtstheile.

Um das Verhältniss $\frac{\text{Basen}}{SiO_2 + Al_2O_3} = \frac{51}{49}$ zu bilden, müssen jenem Gehalte an $(SiO_2 + Al_2O_3)$ $22{,}1 \; \frac{51}{49} = 23{,}0$ Gewichtstheile Basen gegenübergestellt werden, von welchen das Liaserz selbst nur 0,7 Gewichtstheile liefert, so dass 22,3 Gewichtstheile durch den Kalksteinzuschlag beschafft werden müssen.

100 Theile Kalkstein enthalten

SiO_2	Al_2O_3	MnO	CaO	MgO
2,1	—	—	51,8	—

Von dem Kalkgehalte werden durch die anwesende Kieselsäure selbst $\frac{51}{49} \times 2{,}1 = 2{,}2$ Gewichtstheile gebunden; verfügbar bleiben $51{,}8 - 2{,}2 = 49{,}6$ Gewichtstheile. Um also 49,6 Gewichtstheile verfügbare Basen in die Beschickung zu bringen, müssen 100 Theile Kalkstein zugesetzt werden; zur Beschickung von 100 Gewichtstheilen Liaserz waren 22,3 Gewichtstheile Basen erforderlich, also müssen $\frac{100 \times 22{,}3}{49{,}6} = 45$ Gewichtstheile Kalkstein zugeschlagen werden.

Diese Beschickung aus 100 Theilen Liaserz mit 45 Gewichtstheilen Kalkstein möge nun mit Koks verhüttet werden, deren Aschengehalt 10 Hunderttheile beträgt und die in der obigen Tabelle unter 5 angegebene Zusammensetzung besitzt. Zum Verschmelzen der 145 Gewichtstheile Beschickung würden etwa 60 Gewichtstheile Koks mit 6 Gewichtstheilen Asche erforderlich sein. Diese 6 Gewichtstheile Asche würden in die Beschickung führen

SiO_2	Al_2O_3	MnO	CaO	MgO
3,0	0,9	—	1,2	—

1) Von dem Manganoxydulgehalte des Erzes wird als schlackenbildend auch bei dieser Berechnungsweise nur ein Drittel bis zur Hälfte eingestellt.

also $SiO_2 + Al_2O_3 = 3,9$ Gewichtstheile. Zur Verschlackung sind $3,9 \frac{51}{49} = 4,0$ Gewichtstheile Basen erforderlich, von welchen die Asche selbst 1,2 Gewichtstheile liefert, so dass 2,8 zu beschaffen bleiben. Hierfür sind noch $\frac{100 \times 2,8}{49,6} = 5,6$ oder rund 6 Gewichtstheile Kalkstein erforderlich. Die Beschickung besteht demnach aus 100 Theilen Liaserz mit 51 Theilen Kalkstein. Die erfolgende Schlacke enthält

	SiO_2	Al_2O_3	MnO	CaO	MgO
aus 100 Theilen Liaserz . .	15,6	6,5	0,7	—	—
„ 6 „ Koksasche .	3,0	0,9	—	1,2	—
„ 51 „ Kalkstein .	1,0	—	—	26,4	—
	19,6	7,4	0,7	27,6	—

oder in Hunderttheilen

SiO_2	Al_2O_3	MnO	CaO	MgO
35,4	13,4	1,3	49,9	—

Der Silicirungsgrad der Schlacke entspricht einem 0,9 Silikat. Der Eisengehalt der Beschickung beträgt nur etwa 29 Hunderttheile[1]), das Verhältniss der erfolgenden Schlacke zum Roheisen, sofern man das Ausbringen an letzterem zu 31 Hunderttheilen vom Gewichte der Beschickung annimmt, $\frac{55,3}{31} = \frac{1,8}{1}$, ist also ungünstig. Der Zusatz eines an Kieselsäure und Thonerde ärmeren Erzes würde in Rücksicht hierauf zweckmässig sein.

Hat man ein Erz zur Verfügung, welches einen Ueberschuss von Basen besitzt, also den Kalkstein vertritt, so wird die Rechnung ebenso wie bei diesem durchgeführt. Die Zusammenstellung einer Beschickung aus einer grösseren Zahl von Erzen lässt sich erleichtern, wenn man sie zu einer Tabelle vereinigt, welche für eine Schlacke mit bestimmtem Verhältnisse der Basen zur Kieselsäure und Thonerde die erforderliche Basenzuschlagsmenge oder den verfügbaren Basengehalt jedes Erzes und Zuschlages enthält. Für die auf Seite 537 aufgeführten Erze und Zuschläge könnte diese Tabelle z. B. nachstehende Einrichtung erhalten:

Benennung der Erze, Zuschläge u. s. w.	Schlackenbildende Bestandtheile in 100 Gewichtstheilen der Erze, Zuschläge und Asche						Fe	Für Bildung einer Schlacke mit dem Verhältnisse $\frac{\text{Basen}}{SiO_2 + Al_2O_3} = \frac{51}{49}$ für 100 Gewichtstheile Erz Gewichtstheile	
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	MnO	zusammen		erforderlicher Zuschlag an Basen	verfügbarer Ueberschuss an Basen
1. Liaserz	15,6	6,5	—	—	0,7	22,8	42,8	22,3	—
2. Spatheisenstein .	1,1	—	15,9	8,5	2,3	27,8	22,6	—	25,5
3. Rasenerz . . .	9,5	1,0	1,2	—	0,3	12,0	40,3	9,4	—
4. Kalkstein . . .	2,1	—	51,8	—	—	53,9	—	—	49,6
5. Koksasche . . .	50,0	15,0	20,0	—	—	85,0	10,0	46,0	—

1) 100 Theile Liaserz enthalten nach der Tabelle Seite 537 42,8 Theile Eisen, 6 Theile Koksasche 0,6 Theile Eisen. Diese 43,4 Theile Eisen sind in 151 Theilen Erz nebst Zuschlagskalkstein enthalten; also kommen auf 100 Theile Beschickung 29 Theile Eisen.

Wenn beispielsweise die Aufgabe vorliegt, aus etwa 40 Theilen Liaserz, 40 Theilen Rasenerz und 20 Theilen Spatheisenstein mit dem erforderlichen Kalkzuschlage eine Schlacke von der angegebenen Zusammensetzung zu bilden, so stellt sich die Rechnung folgendermaassen:

40 Theile Liaserz erfordern an Basen	$40 \frac{22,3}{100} =$	8,9 Theile
40 „ Rasenerz „ „ „	$40 \frac{9,4}{100} =$	3,7 „
	Zusammen	12,6 Theile
20 „ Spath liefern an verfügbaren Basen	$20 \frac{25,5}{100}$. .	5,1 „
Demnach bleibt noch als Basenbedarf zu decken		7,5 Theile

und hierfür sind an Kalkstein erforderlich $\frac{100 \times 7,5}{49,6} = 15,1$ Theile.

Zum Schmelzen dieser Beschickung von zusammen etwa 115 Gewichtstheilen werden ungefähr 46 Gewichtstheile Koks mit 10 Hunderttheilen ihres Eigengewichtes, also 4,6 Gewichtstheilen Asche erforderlich sein, welche nach Maassgabe der Tabelle $4,6 \frac{46}{100} = 2,1$ Gewichtstheile Basen für ihre Verschlackung bedürfen. Für die Beschaffung dieser 2,1 Gewichtstheile Basen sind fernere $\frac{100 \times 2,1}{49,6} = 4,2$ Gewichtstheile Kalkstein erforderlich, so dass der gesammte Zuschlag an Kalkstein 19,7 Gewichtstheile beträgt. Die erfolgende Schlacke besitzt demnach folgende Zusammensetzung:

	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	MnO
aus 40 Theilen Liaserz . . .	6,2	2,6	—	—	0,3
„ 40 „ Rasenerz . .	3,8	0,4	0,5	—	0,1
„ 20 „ Spath . . .	0,2	—	3,2	1,7	0,5
„ 19,3 „ Kalkstein . .	0,4	—	10,0	—	—
„ 4,6 „ Asche . . .	2,3	0,7	0,9	—	—
Zusammen	12,9	3,7	14,6	1,7	0,9
oder in 100 Theilen Schlacke	38,1	10,9	43,2	5,0	2,8
	49,0		51,0		

4. Der Betrieb mit verschiedenen Brennstoffen.

Der Betrieb mit Koks oder Holzkohlen.

Koks in dem einen, Holzkohlen in dem andern Falle bilden die eigentlichen Brennstoffe des Hochofenbetriebes, und nur besondere Verhältnisse können die Verwendung anderer, zumal roher, Brennstoffe an ihrer Stelle oder neben ihnen rechtfertigen. Der Umstand, dass sie, bereits verkohlt, bei der Erhitzung keine Gase oder Dämpfe in grösseren Mengen mehr entwickeln, welche mit den Verbrennungsgasen sich mischen und die Gasspannung im Ofen erhöhen würden, verleiht ihnen den rohen Brennstoffen gegenüber ein Uebergewicht beim Betriebe aller Schachtöfen und somit auch des Hochofens; hierzu kommt der Umstand, dass auch die Veränderungen in der Form und Stückgrösse wegfallen, welche rohe Brennstoffe bei ihrer Erhitzung zu erleiden pflegen und welche Störungen im Verlaufe des Schmelz-

processes herbeiführen können. Man vergegenwärtige sich z. B. das bedeutende Schwinden des Holzes beim Verkohlen; gefährlicher noch würde die Eigenschaft des Backens einzelner Steinkohlensorten, des Zerfallens zu Pulver anderer Steinkohlenarten sein. Beide Eigenschaften können zu Versetzungen im Hochofen Veranlassung geben, welche schwer zu beseitigen sind. Bei der Koksbereitung aus backenden Steinkohlen tritt auch der schon früher betonte Vortheil in den Vordergrund, dass hier eine vorausgehende Zerkleinerung und Aufbereitung der Kohlen möglich ist, durch welche der für die Verwendung nachtheilige Aschengehalt auf ein geringeres Maass zurückgeführt werden kann.

Auf die Unterschiede in der zweckmässigsten Grösse des Hochofens wie in der Leitung des Betriebes, welche aus der Verschiedenheit der Dichtigkeit, Verbrennlichkeit und des Aschengehaltes der Koks und der Holzkohlen sich ergeben, wurde bereits früher hingewiesen, und es genügt deshalb eine kurze zusammenfassende Wiederholung des schon Gesagten.

Koks sind dichter und deshalb schwerer verbrennlich als Holzkohlen. Auch dem Einflusse der Kohlensäure in höherer Temperatur ($CO_2 + C = 2\,CO$) widerstehen sie in stärkerem Maasse als diese. Der Umstand rechtfertigt die Anwendung höherer Oefen beim Koks- als beim Holzkohlenbetriebe (Seite 362), und wenn man auch auf einzelnen Eisenwerken Nordamerikas zur Erzielung grösserer Tagesleistungen Holzkohlenhochöfen gebaut hat, deren Abmessungen denen zahlreicher Kokshochöfen nicht nachstehen, so ist doch jene grössere Roheisenerzeugung auch der einzige hierbei erreichbare Vortheil. Kokshochöfen in den geringeren Abmessungen der meisten Holzkohlenhochöfen würden dagegen nur mit erheblich grösserem Aufwande an Brennstoff zu betreiben sein. Die Schwerverbrennlichkeit der Koks wie die in dem grösseren Ofen gesteigerte Gasspannung machen die Anwendung stärker gepressten Windes nothwendig; auch durch stärkere Erhitzung des Windes wird den Nachtheilen, welche die Schwerverbrennlichkeit hervorrufen könnte, in erfolgreicher Weise vorgebeugt. Die Windtemperaturen, welche in steinernen Winderhitzern sich erreichen lassen, überschreiten beim Betriebe mit Holzkohlen mitunter schon die Grenze des Zweckmässigen, selbst wenn graues Roheisen erzeugt werden soll (Seite 513), beim Betriebe mit Koks höchstens dann, wenn man auf gewöhnliches Weisseisen arbeitet.

Der höhere Aschengehalt der Koks sowohl als die chemische Beschaffenheit der Koksasche an und für sich machen die Anwendung reichlicherer Zuschläge beim Koksbetriebe zur Verschlackung der Asche erforderlich; der selten fehlende Schwefelgehalt der Koks aber lässt die Bildung stärker basischer Schlacken als beim Holzkohlenbetriebe in zahlreichen Fällen als nothwendig erscheinen, ein Umstand, welcher besonders deutlich beim Betriebe auf graues Roheisen zu Tage tritt. Die kalkerdereichen Schlacken, welche sich für Darstellung von tiefgrauem Koksroheisen oder auch von reichen Eisenmanganen als zweckmässig oder nothwendig erwiesen haben, würden in der niedrigeren Temperatur der Holzkohlenhochöfen oft kaum zum Schmelzen zu bringen sein.

Der Betrieb mit Steinkohlen und Anthraziten.

Steinkohlen neben Koks verwendet man bisweilen, wenn nichtbackende schwefelarme Kohlen in ausreichender Stückgrösse zu haben sind, theils aus Ersparungsrücksichten, theils auch, weil in manchen Fällen eine günstige Beeinflussung des Hochofenganges durch einen mässigen Zusatz von rohen Steinkohlen beobachtet wurde. Besonders ist dieses der Fall bei dem Betriebe auf graues Roheisen. Die Erklärung dafür liefert der Umstand, dass bei Oefen, die an Oberfeuer leiden, durch die bei der Zersetzung der Steinkohlen stattfindende Wärmebindung dieses abgemindert und die Oxydation von Kohlenstoff durch Kohlensäure in dem oberen Theile des Hochofens beschränkt wird; ferner auch darin, dass die flüchtigen Zersetzungsgebilde der Steinkohlen, grossentheils aus Kohlenwasserstoffen bestehend, die Menge der reducirenden Bestandtheile im Gasstrome anreichern, seine Reductionswirkung auf die Erze verstärken und, indem sie die gebildete Kohlensäure verdünnen, auch die Vergasung festen Kohlenstoffs durch Kohlensäure erschweren.

Selbst bei kleinen Holzkohlenhochöfen, welche graues Roheisen unmittelbar für die Giesserei darstellen, hat man es bisweilen zweckmässig gefunden, einen — wenn auch nur geringen — Theil der Holzkohlen (etwa $^1/_{10}$ ihres Gewichtes) durch aschenarme, nichtbackende, gasreiche Steinkohlen zu ersetzen.[1]) Es gelingt hierbei leichter, dem Eisen einen gewissen, für die Benutzung zur Giesserei erforderlichen Silicium- und Graphitgehalt zu wahren.

Auf oberschlesischen Hütten, deren Hochöfen für Koksbetrieb bestimmt sind, hat man mitunter ein Drittel der Brennstoffgicht aus rohen, nichtbackenden Stückkohlen bestehen lassen. In Rücksicht auf den Umstand jedoch, dass der Preis dieser Stückkohlen im Vergleiche zu dem Preise von Koks aus backenden Kleinkohlen ziemlich bedeutend zu sein pflegt, fand man es häufig als wirthschaftlich vortheilhafter, zu der alleinigen Verwendung von Koks zurückzukehren.[2])

Als ausschliesslicher Brennstoff für den Hochofenbetrieb finden rohe Steinkohlen vorzugsweise in Schottland Verwendung, wo die meisten oder sämmtliche Hochöfen in Ermangelung von verkokungsfähigen backenden Steinkohlen mit den in reichen Mengen auftretenden aschenarmen und gasreichen, grossstückigen, auf S. 61 beschriebenen mageren oder nur schwach backenden Kohlen betrieben werden.

Geschieht nun bei Benutzung solcher Steinkohlen die Verhüttung in eben solchen Oefen als bei Koksbetrieb, so übt unleugbar die starke Gasentwickelung und die damit verknüpfte Abkühlung des Ofens (welche, wie oben erwähnt wurde, bei beschränktem Zusatze von Steinkohlen unter Umständen günstig wirken kann) nachtheilige Einflüsse auf den Verlauf des Hochofenschmelzens aus, und der stattfindende

1) Bei dem inzwischen zum Erliegen gekommenen Hochofenbetriebe zu Gröditz in Sachsen verwendete man viele Jahre hindurch zu diesem Zwecke Russkohle (Seite 61) aus dem Zwickauer Steinkohlenbecken.

2) Zeitschr. f. Berg-, Hütten- und Salinenwesen in Preussen, Band XXII, Seite 284.

Wärmeverlust muss durch einen erhöhten Aufwand von Brennstoff gedeckt werden. Durch Anwendung weiter Gichten und hoch erhitzten Windes ist man wohl im Stande, jene Uebelstände abzumindern, nicht aber sie gänzlich zu beseitigen. Der Betrieb wird hierdurch schwieriger als bei Anwendung von Koks. Eine von Ferrie seit 1870 bei mehreren solchen Hochöfen eingeführte Einrichtung, den oberen Theil des Hochofens stark zu erhitzen und hierdurch die Entgasung der Kohlen unmittelbar nach dem Einschütten zu bewirken, ehe sie in tiefer gelegene Zonen gelangt waren (vergleiche Literatur), hatte zwar unmittelbar günstigen Erfolg, gab aber auch zu unregelmässigem Niedergehen der Gichten Veranlassung und war vermuthlich häufigen Beschädigungen unterworfen. Sie soll jetzt gänzlich ausser Anwendung gekommen sein.

Mit den Gasen dieser Hochöfen entweicht der reiche, bei der Zersetzung der Steinkohlen entstehende Theer- und Ammoniakgehalt. Seitdem man die Vortheile der Gewinnung dieser Nebenerzeugnisse bei der Verkokung erkannte, hat man auch bei den schottischen Hochöfen entsprechende Einrichtungen eingeführt, um den Gichtgasen die genannten Körper zu entziehen. Der erlangte Nutzen soll erheblich sein (vergleiche Literatur).

Andere Schwierigkeiten, als hier geschildert wurden, entstehen, wenn statt der gasreichen, nichtbackenden Kohlen Anthrazite als Brennstoffe für den Hochofenbetrieb benutzt werden (Pennsylvanien).

Wie aus den auf Seite 63 gegebenen Mittheilungen hervorgeht, ist der Anthrazit die kohlenstoffreichste, gasärmste aller natürlich vorkommenden Kohlenarten und steht in chemischer Beziehung dem Koks nahe. Eine Verkokung des Anthrazites würde daher, abgesehen von der Schwierigkeit des Verfahrens, kaum Erfolg haben. In physikalischer Beziehung aber unterscheidet sich der Anthrazit wesentlich von dem Koks. Er ist dicht, schwer verbrennlich und besitzt oft in starkem Maasse die Neigung, beim Erhitzen in zahlreiche kleine Stücke zu zerspringen. Diese Eigenschaften erschweren erheblich die Verwendung des Anthrazites beim Hochofenbetriebe.

Die Schwerverbrennlichkeit des Anthrazites lässt seine Anwendung in geringerer Stückgrösse zweckmässig erscheinen, wodurch die dem Winde dargebotene Oberfläche vergrössert wird; am geeignetsten sollen sich Stücke von ungefähr 100 mm im Durchmesser erweisen. Ein anderes Mittel zur Beförderung der Verbrennung ist starke Windpressung; und auch in Rücksicht auf die erwähnte geringe Stückgrösse und auf das häufig eintretende Zerspringen der Stücke in noch kleinere Brocken ist eine hohe Windpressung nothwendig, um den Gasen das Durchdringen der dicht liegenden Beschickung zu ermöglichen. Man baut deshalb die Gebläse so, dass sie im Stande sind, nöthigenfalls mit einer Pressung von 1,5 kg auf 1 qcm zu blasen, obschon während des gewöhnlichen Betriebes selten eine höhere Windspannung als 0,6—1 kg auf 1 qcm erforderlich ist. Sie ist immerhin höher als bei den meisten mit Koks betriebenen Hochöfen.

Auch hoch getriebene Winderhitzung befördert die Verbrennung der Anthrazite.

Eine besondere, schon auf Seite 488 erwähnte Schwierigkeit liegt

in der öfteren Entstehung von Versetzungen im Hochofen, gebildet durch ein Gemenge von Anthrazitpulver mit Schlacken oder gesinterten Massen. Besonders häufig entstehen solche Versetzungen nach dem Absticbe, wenn das Gebläse abgestellt ist. Pulver, zur Hälfte aus Anthrazitstaub, zur andern Hälfte aus zerfallenen Erzen bestehend, welches an den Rastwänden ringförmig sich aufgebaut hatte, rollt dann mit einem Male vor die Formen und droht, das Feuer zu ersticken. Anwendung hoch erhitzten Windes (sofern die Winderhitzer nicht inzwischen ebenfalls abgekühlt sein sollten) und sehr starker Pressung, welche es dem Winde ermöglicht, die dicht liegenden Massen zu durchdringen, hat in solchen Fällen häufig gute Dienste gethan und die Beseitigung des Hindernisses zu Wege gebracht. In anderen Fällen sucht man, sofern nicht bereits Erstarrung zu einem einzigen festen Klumpen eingetreten ist, den Staub durch Kratzen und Schaufeln aus dem Ofen zu ziehen, bis die gröberen Stücke des Brennstoffs nachrutschen und der Wiederbeginn des Blasens ermöglicht ist. Liegt jedoch die Versetzung höher im Ofen, so bleibt gewöhnlich nichts Anderes übrig, als den Ofen hier aufzubrechen und nun in irgend einer Weise die „Sau“ zu zerbrechen, zu schmelzen oder zum Niedergehen zu bringen.

Bei Erwägung dieser Schwierigkeiten findet man die Anwendung der a. a. O. schon erwähnten, auf nordamerikanischen Eisenwerken bisweilen angewendeten Mittel zur Beseitigung jener Versetzungen (Sprengen mit Pulver u. s. w.) wohl erklärlich.

Der Betrieb mit Braunkohlen.

In Gegenden, wo die Holzkohlen durch die geänderten Zeitverhältnisse vertheuert worden, Koks nur aus weiten Entfernungen zu erlangen sind, Braunkohlen dagegen zu einem mässigen Preise zu beschaffen sein würden, hat man mehrfach Versuche angestellt, diese an Stelle von Holzkohle oder von Koks als Brennmaterial für den Hochofenbetrieb zu benutzen.

Zwei Eigenschaften der Braunkohlen sind es hauptsächlich, welche diese Verwendung erschweren: ihr grosser Gas- und Wassergehalt und ihr Zerfallen beim Erhitzen, wodurch ihre Verkohlung unmöglich wird (Seite 66).

Besonders in den österreichischen Alpenländern war man häufig bemüht, Braunkohle als theilweisen Ersatz anderer Brennstoffe beim Hochofen zu verwerthen; auch in Ungarn hat man zeitweise einzelne Holzkohlenhochöfen mit Zusatz von Braunkohle betrieben.

Aus den erlangten Ergebnissen lässt sich folgern, dass eine ausschliessliche Benutzung von Braunkohlen für den Hochofenbetrieb mit grossen Schwierigkeiten zu kämpfen hat, während ein mässiger Zusatz von Braunkohlen zu verkohlten Brennstoffen (in Zeltweg und Prävali zu Koks, in Vordernberg zu Holzkohlen) als zweckmässig sich erwies, sofern der Preis der Braunkohlen ausreichend niedrig war. Auch bei dieser Art der Benutzung hat sich jedoch ergeben, dass für einen erfolgreichen Betrieb ein zuvoriges Abflammen der Kohlen, d. h. eine theilweise Verkohlung, nothwendig ist, um die Nachtheile der allzu starken Gasentwickelung im Hochofen abzumindern.

Die in Vordernberg verwendete Braunkohle (aus dem Köflacher Bezirk), Lignit mit Holzgefüge, enthielt:

Kohlenstoff	41,80	Hunderttheile
Gase	28,86	"
Wasser	26,00	"
Asche	3,34	"

Nachdem sich herausgestellt hatte, dass eine einfache Trocknung der Braunkohlen bei 70° C. nicht ausreichend sei, ihre Verwendung im Hochofen als nützlich erscheinen zu lassen, ging man dazu über, eine Verkohlung in besonderen Kammern vorzunehmen, welche eine Erhitzung bis zu 300° C. ermöglichten.[1]) Das Ausbringen an Kohle hierbei betrug 45—48 Hunderttheile mit einem Kohlenstoffgehalt von 80,5 Hunderttheilen und 7,1 Hunderttheilen Asche; die Verkohlungskosten für Feuerung, Arbeitslöhne und Amortisation stellten sich für 100 kg fertiger Kohle auf etwa 25 Pfennige.

Von der erhaltenen Kohle, welche zum grossen Theile sich als mürbe und zerreiblich erwies, waren etwa 130 kg erforderlich, um 100 kg Fichtenholzkohle zu ersetzen. Die kleinstückige Beschaffenheit der Braunkohlen steigerte die Schwierigkeiten des Betriebes, indess war es, da der benutzte Ofen nicht hoch war (10,8 m), möglich, bis 40 Hunderttheile der Holzkohlen durch Braunkohlen zu ersetzen.

Auch in den grösseren mit Koks betriebenen Hochöfen zu Zeltweg und Prävali hat man zeitweise 40 Hunderttheile der Koks durch Braunkohlen zu ersetzen vermocht.

Der Betrieb mit Torf und Torfkohle.

Roher Torf ist seines grossen Wasser- und Gasgehaltes halber ebensowenig als rohe Braunkohle geeignet, grössere Mengen von Holzkohle oder Koks im Hochofen zu ersetzen; gedarrter oder theilweise verkohlter Torf dagegen hat mitunter neben Holzkohle oder auch neben Koks eine nützliche Verwendung gefunden.

Umfänglichere Versuche über die Benutzbarkeit des Torfes beim Hochofenbetriebe wurden in den siebziger Jahren in Vordernberg angestellt.[2]) Man benutzte Kugeltorf, d. h. Torf, welcher zu Kugeln gepresst worden war, welche Form sich als besonders geeignet für die in Rede stehende Benutzung erwies. Im lufttrockenen Zustande enthielt er 31 Hunderttheile Kohle, 1,7—4 Hunderttheile Asche, und 100 kg dieses lufttrockenen Torfes waren erforderlich, um 34 kg Holzkohle zu ersetzen. In Verkohlungsöfen von Barff und Thursfield verkohlt enthielt er 64,5 Hunderttheile Kohle, 30,8 Hunderttheile brennbare Gase, 4,6 Hunderttheile Asche, und 100 kg dieses halbverkohlten Torfes ersetzten im Hochofen etwa 91 kg Holzkohle.

Sowohl bei Zusatz des lufttrockenen als des verkohlten Torfes blieb der Betrieb noch durchführbar, wenn man zwei Drittel der Brennstoffgicht aus Torf bestehen liess.

1) Einrichtung und Betrieb dieser Kammern: Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1882, Seite 45.

2) Vergl. unter Literatur die Abhandlung von A. Enigl.

Der Betrieb mit rohem Holze.

Wegen der beträchtlichen Gasentwickelung und des Schwindens des Holzes beim Verkohlen ist es nicht möglich, einen erfolgreichen Hochofenbetrieb unter ausschliesslicher Anwendung rohen Holzes zu führen; wohl aber hat man bisweilen mit Vortheil bei Holzkohlenhochöfen einen Theil der Holzkohlen durch rohes Holz ersetzt, welches zuvor in warmen Räumen einer Trocknung unterworfen worden war. Verschiedene Hochöfen des Harzes wurden in den fünfziger und sechziger Jahren dieses Jahrhunderts unter Mitbenutzung von rohem Holze, dessen Menge mitunter dem Gemässe nach die Hälfte des gesammten Brennstoffs, dem Gewichte nach also noch mehr betrug, betrieben. Es zeigte sich hierbei, dass das rohe Holz eine grössere Menge Holzkohlen zu ersetzen im Stande war, als bei der gewöhnlichen Verkohlung daraus erfolgt sein würde. Diese Erscheinung findet ihre genügende Erklärung, wenn man erwägt, dass bei der Verkohlung, zumal wenn sie in Meilern geschieht, eine theilweise Verbrennung von Kohlenstoff unumgänglich ist, und dass fernerhin ebenso wie bei Zusatz roher Steinkohlen die bei der Zersetzung des Holzes im Hochofen entwickelten Gase die Menge der reducirenden Bestandtheile vermehren, mindestens aber den Kohlensäuregehalt der Hochofengase durch ihr Hinzutreten verdünnen und hierdurch die Umwandlung der vorhandenen Kohlensäure zu Kohlenoxyd auf Kosten der Holzkohle im oberen Theile des Ofens erschweren. Dass unter Umständen auch die mit der Zersetzung des Holzes verknüpfte Temperaturerniedrigung in dieser Beziehung von Vortheil sein könne, wurde schon erwähnt.

Wo aber das Holz im Walde, fern von der Hütte, verkohlt wird, die Fracht nach dem Hochofen also einen nicht unbeträchtlichen Theil der Selbstkosten des Holzes und der Holzkohlen ausmacht, kommt der Umstand in Betracht, dass aus 100 kg Holz nur etwa 22 kg Holzkohlen zu erfolgen pflegen, man also mehr als die vierfachen Frachtkosten zu tragen hat, wenn man das rohe Holz statt der Kohlen nach der Hütte abfahren lässt. Dieser Preisunterschied darf nicht übersehen werden und erklärt es hauptsächlich, dass die Anwendung rohen Holzes beim Hochofenbetriebe im Allgemeinen ziemlich selten geblieben ist.

Der Betrieb mit Gasen.

Bisweilen sind Vorschläge, theilweise auch Versuche gemacht worden, den Hochofen mit zugeleiteten Gasen — insbesondere Luftgas — zu betreiben. Die Eigenthümlichkeiten des Hochofenschmelzens müssen jedoch zu der Schlussfolgerung führen, dass es ohne Anwendung festen Brennstoffs nicht möglich ist, einen regelmässigen Hochofenbetrieb nutzenbringend zu führen.

Der feste Kohlenstoff hat, wie früher erörtert wurde, im Hochofen einen doppelten Zweck zu erfüllen: er soll durch Verbrennung zu Kohlenoxyd das Reductionsmaterial für die Erze liefern, bei dieser Verbrennung aber zugleich die zur Durchführung des ganzen Verfahrens nothwendige Wärme liefern. Wird diese Wärme durch Verbrennung

von Gasen erzeugt, so bestehen die Verbrennungsgebilde aus Kohlensäure und — bei Benutzung gasförmiger Kohlenwasserstoffe — aus Wasserdampf, also aus Gasen, welche in der Schmelztemperatur des Roheisens oxydirende statt reducirende Wirkungen ausüben würden. Eine sehr starke Verdünnung der Verbrennungsgase durch unverbrannte Gase, d. h. die Zuleitung eines grossen Gasüberschusses, würde mithin nothwendig sein, um jene oxydirende Wirkung aufzuheben. Mit der Menge der unverbrannt bleibenden Gase, welche ebenfalls auf die Temperatur des Schmelzraumes erhitzt werden müssen und später das eigentliche Reductionsmaterial bilden, steigt aber die Schwierigkeit, jene Temperatur hervorzubringen. Auch durch starke Vorwärmung der Gase und des Gebläsewindes würde es nicht möglich sein, dieses Hinderniss zu beseitigen, da stets Kohlensäure und Wasserdampf gebildet werden, sobald Gase verbrennen.

Nicht ganz so aussichtslos ist vielleicht der Gedanke, dem mit festen Brennstoffen betriebenen Hochofen von aussen her noch reducirende Gase zuzuführen, um die Reduction der Erze durch Kohlenoxyd zu erleichtern und insbesondere die Oxydationswirkung der bei der Reduction entstandenen Kohlensäure auf feste Kohle oberhalb des Schmelzraumes abzuschwächen. In den meisten Fällen jedoch wird die Erzeugung und Zuleitung solcher reducirenden Gase grössere Kosten verursachen, als dass ein wirklicher Nutzen dadurch erreicht werden könnte.

5. Die Berechnung des Hochofenschmelzganges und die Wärmebilanz.

Sofern man nicht beabsichtigt, den Hochofenschmelzgang in seinen einzelnen Abschnitten zu verfolgen, sondern nur ein Bild von den Umwandlungen, welche die Schmelzmaterialien im Grossen und Ganzen erfuhren, und zumal Auskunft über die Verwendung erhalten will, welche der Brennstoff im Ofen fand, kann man der mühseligen und immerhin etwas zweifelhaften Analysen der Gase und Erze aus verschiedenen Stellen des Hochofens entbehren; eine Gegenüberstellung der Zusammensetzung der Schmelzmaterialien einerseits und der Enderzeugnisse andererseits unter Berücksichtigung der Gewichtsverhältnisse, unter welchen jene dem Hochofen zugetheilt und diese von ihm geliefert wurden, genügt hierfür. Die sämmtlichen Bestandtheile der Materialien müssen in den Erzeugnissen sich wiederfinden; aber die Form, in welcher sie erscheinen, besonders das Verhältniss der Kohlensäure zum Kohlenoxyd in den Gichtgasen, ist anders, je nachdem die Reduction der Erze in reicherem oder weniger reichem Maasse durch festen Kohlenstoff statt durch Kohlenoxyd stattfand, oder — was hinsichtlich der Ausnutzung des Brennstoffs damit gleichbedeutend ist — je nachdem grössere oder geringere Mengen der bei der Reduction der Erze entstandenen Kohlensäure durch Vergasung von Kohle wieder zu Kohlenoxyd reducirt wurden. Wie viel des in den Gichtgasen enthaltenen Kohlenoxydes dieser Quelle entstammt und wie viel vor den Formen durch den Gebläsewind gebildet wurde, lässt sich berechnen, wenn jene Unterlagen bekannt sind.

Für die Ausführung der Berechnung ist es erforderlich, dass die Zusammensetzung der Gichtgase in Gewichtstheilen statt, wie sonst üblich, in Raumtheilen angegeben werde. Eine Umrechnung einer nach Raumtheilen ausgeführten Analyse in Gewichtstheile ist unschwer zu bewirken.

Beispiel der Rechnung.[1]) In dem mit Holzkohlen betriebenen Hochofen Nr. 2 zu Vordernberg wurde weisses, für den Puddelbetrieb bestimmtes Roheisen dargestellt, und der Verbrauch an Schmelzmaterialien zur Darstellung von 100 kg Roheisen betrug durchschnittlich:

Erz	212,69 kg
Zuschlagthonschiefer	13,90 „
Holzkohle	74,00 „

Die Erze wurden zu etwa ein Drittel im ungerösteten, zu zwei Dritteln im gerösteten Zustande verwendet, und die Zusammensetzung des Erzgemisches (Möllers) ohne den Zuschlagthonschiefer war folgende:

	in Hunderttheilen:		in der zur Darstellung von 100 kg Roheisen erforderlichen Erzmenge (212,69 kg):	
Fe_2O_3 . .	54,93 Hunderttheile		116,82 kg	
FeO . .	8,48 „		18,04 „	
CaO . .	9,58 „		20,37 „	
Mn_3O_4 . .	4,97 „		10,57 „	
Al_2O_3 . .	3,00 „		6,38 „	
MgO . .	1,83 „		3,89 „	
SiO_2 . .	4,92 „		10,46 „	
H_2O . . .	4,48 „		9,52 „	
CO_2 . . .	7,81 „	(mit 2,13 C)	16,64 „	(mit 4,54 kg C)
	100,00 Hunderttheile		212,69 kg.	

Zusammensetzung des Zuschlagthonschiefers

	in Hunderttheilen:		in der zur Darstellung von 100 kg Roheisen erforderlichen Menge (13,90 kg):
SiO_2 . . .	78,38 Hunderttheile		10,90 kg
Al_2O_3 . . .	13,99 „		1,95 „
CaO . . .	0,53 „		0,07 „
Fe_2O_3 . . .	3,90 „		0,54 „
H_2O . . .	3,20 „		0,44 „
	100,00 Hunderttheile		13,90 kg.

Zusammensetzung der Holzkohlen

	in Hunderttheilen:		in der zur Darstellung von 100 kg Roheisen erforderlichen Menge (74 kg):	
C	85,10 Hunderttheile		62,97 kg	
CO_2 . . .	3,26 „	(mit 0,89 C)	2,41 „	(mit 0,66 kg C)
CO	1,36 „	(„ 0,58 C)	1,00 „	(„ 0,43 „ C)
CH_4 . . .	0,70 „	(„ 0,52 C)	0,52 „	(„ 0,38 „ C)
H	0,07 „		0,05 „	
N	0,51 „		0,39 „	
H_2O . . .	7,00 „		5,18 „	
Asche . . .	2,00 „		1,48 „	
	100,00 Hunderttheile		74,00 kg.	

Eine Zusammenstellung der sämmtlichen dem Hochofen

1) Nach F. Friderici, Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1882, Seite 2.

für 100 kg dargestellten Roheisens zugeführten Körper ergiebt also:

Fe_2O_3 aus den Erzen	116,82 kg			
„ „ „ dem Thonschiefer . .	0,54 „			
	117,36 kg	mit	82,15 kg Fe,	35,21 kg O
FeO aus den Erzen	18,04 kg	„	14,03 „ „	4,01 „ O
			96,18 kg Fe,	39,22 kg O
SiO_2 aus den Erzen	10,46 kg			
„ „ dem Thonschiefer . .	10,90 „			
	21,36 kg	mit	9,98 kg Si,	11,38 kg O
Al_2O_3 aus den Erzen	6,38 kg			
„ „ dem Thonschiefer . .	1,95 „			
	8,33 kg			
CaO aus den Erzen	20,37 kg			
„ „ dem Thonschiefer . .	0,07 „			
	20,44 kg			
MgO aus den Erzen	3,89 kg			
Mn_3O_4 aus den Erzen	10,57 „	mit	7,62 kg Mn,	2,95 kg O
Alkalien aus den Holzkohlen . .	1,48 kg [1]			
H_2O aus den Erzen	9,52 kg			
„ „ dem Thonschiefer . .	0,44 „			
„ „ der Holzkohle	5,18 „			
	15,14 kg			
CO_2 aus den Erzen	16,64 kg	mit	4,54 kg C	
„ „ der Holzkohle	2,41 „	„	0,66 „ „	
	19,05 kg	mit	5,20 kg C,	13,85 kg O
CO aus der Holzkohle	1,00 „	„	0,43 „ C,	0,57 kg O
CH_4 „ „ „	0,52 „	„	0,38 „ „	
C „ „ „			62,97 „ „	
		Sa.	68,98 kg C	
H aus den Holzkohlen	0,05 kg			
N „ „ „	0,39 „			

Diese sämmtlichen Körper müssen sich in dem Roheisen, der Schlacke und den Gichtgasen wiederfinden.

Das Roheisen enthielt einer angestellten Analyse zufolge:

C . .	3,122	
Si . .	0,152	(entstanden aus der Reduction von 0,33 kg SiO_2)
Mn . .	2,220	(entstanden aus der Reduction von 3,08 kg Mn_3O_4)
Fe . .	94,506	
	100,000	

In die Schlacke gehen demnach folgende Bestandtheile:

	Insgesammt für 100 kg Roheisen		in Hunderttheilen:
FeO . . .	2,14 kg	(metallisches Eisen 96,18—94,506 = 1,67 kg nebst 0,47 kg O)	3,32
MnO . . .	7,07 „	(10,57—3,08 = 7,49 kg Mn_3O_4 entsprechen 7,07 kg MnO mit 1,59 kg O)	10,98
SiO_2 . . .	21,03 „	mit 11,21 kg O	32,76
Al_2O_3 . .	8,33 „		12,93
CaO . . .	20,44 „		31,75
MgO . . .	3,89 „		6,04
Alkalien .	1,48 „		2,22
	64,38 kg		100,00

1) Bei der Geringfügigkeit des Aschengehaltes ist dieser vollständig als Alkalien in Rechnung gestellt, während die Holzkohlenasche in Wirklichkeit neben den Alkalien Kohlensäure u. s. w. enthält.

Die berechnete Zusammensetzung der Schlacke und das Verhältniss der Schlackenmenge zum Roheisen (64,38 : 100) wurde durch Analyse und durch Wägen der erfolgenden Schlacke geprüft und als ziemlich genau übereinstimmend mit der Wirklichkeit befunden.

Die Analyse der Gichtgase ergab in Gewichtstheilen (unter Vernachlässigung des Wassergehaltes):

CO_2	22,37	mit	6,10 C
CO	23,84	„	10,22 „
CH_4	0,37	„	0,28 „
H	0,09		
N	53,33		
	100,00	mit	16,60 C.

Da für 100 kg darzustellenden Roheisens der oben gegebenen Zusammenstellung zufolge der Hochofen insgesammt 68,98 kg Kohlenstoff erhält (aus der Holzkohle und dem Kohlensäuregehalt der Erze), von diesem aber der mitgetheilten Roheisenanalyse zufolge 3,122 kg durch das Roheisen aufgenommen werden, so finden sich in den Gasen 68,98 — 3,122 = 65,858 kg Kohlenstoff wieder, und die Menge der Gichtgase für je 100 kg Roheisen beträgt demnach:

CO_2	88,76 kg	mit 24,22 kg C,	64,54 kg O,	0,00 kg H
CO	94,58 „	„ 40,54 „ „	54,04 „ „	0,00 „ „
CH_4	1,46 „	„ 1,09 „ „	— „ „	0,37 „ „
H	0,35 „	„ — „ „	— „ „	0,35 „ „
N	211,58 „	„ — „ „	— „ „	— „ „
	396,73 kg	mit 65,85 kg C,	118,58 kg O,	0,72 kg H.

Von dem Kohlensäuregehalte dieser Gase entstammten, wie oben nachgewiesen wurde, 19,05 kg aus der Beschickung; 88,76 — 19,05 = 69,71 kg gingen mithin aus der Reduction der Erze durch Kohlenoxyd hervor, und es wurden hierbei $^4/_{11} \times 69{,}71 = 26{,}35$ kg Sauerstoff den Erzen entzogen. Die Gesammtmenge des Sauerstoffs, welche bei der Reduction den Erzen entzogen wurde, betrug aber:

an Eisen gebundener Sauerstoff 39,22—0,47 . . .	38,75 kg
„ Mangan gebundener Sauerstoff 2,95—1,59 . .	1,36 „
„ Silicium gebundener Sauerstoff 11,38—11,21 .	0,17 „
	40,28 kg.

Von dem gesammten Sauerstoffgehalte der reducirten Körper wurden mithin

durch Kohlenoxyd	25,35 kg oder	62 Hunderttheile
„ Kohlenstoff	14,93 „ „	38 „
	40,28 kg oder	100 Hunderttheile

ihnen entzogen. Der durch Kohlenoxyd entzogene Sauerstoff findet sich als Kohlensäure, der durch Kohlenstoff entzogene als Kohlenoxyd in den Gichtgasen wieder. Wurde also Kohlensäure, welche durch Einwirkung von Kohlenoxyd auf Erze entstanden war, durch Vergasung eines zweiten Atomes Kohlenstoff wieder in Kohlenoxyd umgewandelt, so findet sich der Sauerstoff in der durch Kohlenstoff entzogenen Menge, denn der gesammte Verbrauch an Kohle hierbei ist der gleiche als wenn von vornherein durch Einwirkung von Kohlenstoff auf Erze Kohlenoxyd gebildet worden wäre.

In derselben Weise kann man sich über das Verhalten der übrigen Körper Rechenschaft geben.

Der gesammte Sauerstoffgehalt der Gichtgase beträgt für je 100 kg Roheisen		118,58 kg
Hiervon entstammen		
dem Reductionsvorgange	40,28 kg	
„ Kohlensäuregehalte der Erze und Holzkohlen	13,85 „	
„ Kohlenoxydgehalte der Holzkohlen	0,57 „	
		54,70 „
Mithin sind durch den Gebläsewind zugeführt		63,88 kg,

wobei allerdings der aus der Feuchtigkeit des Gebläsewindes stammende Sauerstoffgehalt unberücksichtigt geblieben ist.[1])

Jene 63,88 kg Sauerstoff entsprechen $\frac{63{,}88}{23}\,100 = 277{,}7$ kg oder 215,2 cbm atmosphärischer Luft für je 100 kg Roheisen. Die Menge des in 24 Stunden erzeugten Roheisens betrug 15 000 kg, also in der Minute 10,4 kg; mithin Windmenge in der Minute $\frac{10{,}4 \times 215{,}2}{100} = 22{,}4$ cbm.

Ein annähernd gleiches Ergebniss ergiebt die Berechnung aus dem Stickstoffgehalte der Gichtgase. Sie enthalten für je 100 kg dargestellten Roheisens 211,58 kg oder 169,2 cbm Stickstoff, welche $\frac{169{,}2}{79}\,100 = 214{,}2$ cbm atmosphärischer Luft entsprechen; mithin Windmenge in der Minute $\frac{10{,}4 \times 214{,}2}{100} = 22{,}2$ cbm.

Eine Berechnung der Windmenge aus Düsenquerschnitt und Windspannung nach den Hauerschen Tabellen ergab in dem vorliegenden Falle 23 cbm in der Minute.

Auf Grund der für derartige Berechnungen erforderlichen Ermittelungen ist man nun auch im Stande, eine Wärmebilanz des Hochofens aufzustellen.

Der Hochofen empfängt Wärme oder doch das Material zu ihrer Erzeugung; er verbraucht die empfangene Wärme für die Durchführung des Hochofenschmelzens, und ein Theil der Wärme geht mit den austretenden Gichtgasen, durch Ausstrahlung der Wände u. s. w. verloren.

Durch Gegenüberstellung der Wärmeeinnahme und Wärmeausgabe, deren Gesammtbeträge sich decken müssen, erhält man die Wärmebilanz.

Die Aufstellung einer solchen Wärmebilanz zu verschiedenen Zeiten

1) Derselbe würde sich aus dem Wasserstoffgehalte der Gichtgase nach Abzug des aus den Brennstoffen stammenden Wasserstoffgehaltes ermitteln lassen; jedoch scheint in der Bestimmung dieser Wasserstoffgehalte in dem vorliegenden Beispiele eine kleine Unrichtigkeit obzuwalten.

Es beträgt nämlich der Gesammt-Wasserstoffgehalt der Gichtgase für je 100 kg Roheisen		0,72 kg
Davon stammen:		
aus dem CH_4 der Holzkohlen	0,14 kg	
„ „ H „ „	0,05 „	
		0,19 „
mithin bliebe für die Feuchtigkeit der Gebläseluft		0,53 kg H

entsprechend 4,24 kg H_2O, was offenbar zu hoch ist.

Sofern die Richtigkeit der Analysen, insbesondere die Bestimmung des Wasserstoffgehaltes der Holzkohle vollständig richtig wäre, würde man auf eine Zerlegung von Feuchtigkeit aus der Beschickung schliessen müssen.

und unter verschiedenen Betriebsverhältnissen besitzt nicht allein theoretische Bedeutung. Wie der Geschäftsmann über den Stand seines Geschäftes, über die Ursachen, welche Mindererträge oder Verluste in dem einen Falle, reichere Erträge in dem andern Falle herbeiführten, erst einen klaren Ueberblick erhält, indem er die stattgehabten Einnahmen und Ausgaben, nach Abschnitten geordnet, in der Bilanz einander gegenübergestellt und nun die Beträge, welche jene Einnahmen und Ausgaben unter verschiedenen Verhältnissen erreichten, vergleicht, so erhält auch der Eisenhüttenmann durch die Wärmebilanz seines Hochofens erst ziffernmässige Belege für die Ursachen der Abweichungen in dem Brennstoffverbrauche zu verschiedenen Zeiten oder unter verschiedenen Verhältnissen. Die Wärmebilanz zeigt ihm in solcher Weise den Weg, ungünstig wirkende Einflüsse zu beseitigen, oder bewahrt ihn in anderen Fällen vor erfolglosen Versuchen.

Für die Anfertigung der Wärmebilanz ist eine Ermittelung der Zwischenreactionen im Hochofen, bei welchen Wärme erzeugt oder verbraucht wird, ebensowenig erforderlich als für die oben erläuterte Berechnung des Schmelzganges. 1 kg Kohlenstoff giebt in allen Fällen bei der Verbrennung zu Kohlenoxyd als Enderzeugniss die nämliche Wärmemenge, gleichviel, ob er sofort vollständig zu Kohlenoxyd verbrannt wurde oder ob erst die Hälfte davon Kohlensäure bildete, welche dann unter Umwandlung in Kohlenoxyd die zweite Hälfte der Kohle vergaste. 1 kg Eisenoxyd bedarf, um zu metallischem Eisen reducirt zu werden, in allen Fällen die gleiche Gesammtwärme, gleichviel, ob die Reduction sofort vollständig oder erst unter Bildung von Zwischenstufen vor sich ging, gleichviel auch, ob sie durch Kohlenoxyd oder durch feste Kohle erfolgte; denn der Unterschied in dem Wärmeverbrauche bei Reduction durch Kohlenoxyd oder Kohlenstoff liegt allein in dem Umstande, dass bei ersterer Kohlensäure, bei letzterer Kohlenoxyd als Enderzeugniss der Verbrennung des Reductionsmittels hervorgeht. Daher genügt, wie schon erwähnt wurde, die Zusammensetzung der Materialien und der Enderzeugnisse des Hochofenschmelzens.

Da aber in den meisten Fällen der Wasserstoff- und Kohlenwasserstoffgehalt der Gichtgase für die Wärmebildung wenig oder gar nicht in Betracht kommen, so ist für die Wärmebilanz eine vollständige Analyse der Gichtgase nicht einmal unbedingt erforderlich; es genügt — worauf Gruner zuerst aufmerksam machte[1]) — das Verhältniss $\frac{CO_2}{CO}$ in den Gichtgasen zu kennen, um die übrigen erforderlichen Ziffern daraus abzuleiten. Man weiss, wie viel Brennstoff und wie viel Beschickung zur Darstellung von 1 kg Roheisen verbraucht wurden; weiss ferner aus der Zusammensetzung dieser Körper, wie viel Kohlenstoff durch sie dem Ofen zugeführt wurde; endlich, wie viel dieses Kohlenstoffs von dem erzeugten Roheisen aufgenommen wurde. Aller übrige Kohlenstoff muss in den Gichtgasen sich wiederfinden. Sein Gewicht (für je 1 kg Roheisen) sei = p, das Gewicht des in den Gichtgasen für je 1 kg erzeugten Roheisens enthaltenen Kohlenoxydes

1) Annales des mines, série 7, tome II, p. 18; Gruner-Steffen, Analytische Studien, Seite 15.

$= y$, das durch Analyse ermittelte Verhältniss $\frac{CO_2}{CO} = m$ (also das Gewicht der Kohlensäure $= my$), so ergeben sich folgende einfache Beziehungen:

$$p = \frac{3}{7} y + \frac{3}{11} my$$

$$y = \frac{77 p}{33 + 21 m.}$$

Man erhält hierdurch das Gewicht des in den Gichtgasen enthaltenen Kohlenoxydes wie der Kohlensäure für je 1 kg erzeugten Roheisens und ist mit Hülfe dieser Ziffern befähigt, die Wärmebilanz aufzustellen.

Erstes Beispiel. Bei dem Holzkohlenhochofen zu Vordernberg, dessen Betriebsverhältnisse zum grossen Theil schon oben mitgetheilt wurden, stellt sich die Wärmebilanz folgendermaassen:

1. Wärmeeinnahme.

a) Durch Verbrennung von Kohlenstoff. Der verbrannte Kohlenstoff — gleichviel ob er durch atmosphärischen Sauerstoff oder durch den Sauerstoff der Erze verbrannt wurde — findet sich in den Gichtgasen theils als CO_2, theils als CO. Wie schon durch die angestellte Berechnung nachgewiesen wurde, enthielten die Gichtgase für je 1 kg[1]) dargestellten Roheisens 0,8876 kg Kohlensäure, von welcher 0,1905 kg unmittelbar aus der Beschickung stammte; für die Verbrennung der Kohle hinterbleibt 0,6971 kg Kohlensäure, entsprechend 0,1901 kg Kohlenstoff.

Der Kohlenoxydgehalt der Gichtgase für je 1 kg dargestellten Roheisens betrug 0,9458 kg, wovon 0,01 kg der Holzkohle entstammten; durch Verbrennung von Kohle entstanden also 0,9358 kg Kohlenoxyd, entsprechend 0,4011 kg Kohlenstoff.

Daher lieferte der verbrennende Kohlenstoff Wärme:

0,1901 kg zu Kohlensäure verbrennend, für je 1 kg 8080 W.-E.	1536 W.-E.
0,4011 „ „ Kohlenoxyd „ „ „ 1 „ 2473 „	992 „
	2528 W.-E.

b) Durch den erhitzten Wind. Die durch Messung gefundene Temperatur des Windes war 300° C., die Menge für 1 kg erzeugten Roheisens, wie bereits oben berechnet, 2,777 kg, die spezifische Wärme beträgt 0,237; mithin ist die von dem Winde mitgebrachte Wärme $2{,}777 \times 0{,}237 \times 300 = 198$ W.-E. Hierbei ist der Feuchtigkeitsgehalt des Windes ausser Acht gelassen; die hieraus entstehende Abweichung ist jedoch unwesentlich.

2. Wärmeausgabe.

a) Zur Reduction.

0,8215 kg Fe aus Fe_2O_3 reducirt erforderten $0{,}8215 \times 1796$[2])	1475 W.-E.
0,1403 — 0,0167 = 0,1236 kg Fe aus FeO reducirt erforderten $0{,}1236 \times 1452$	167 „
0,0222 kg Mn aus Mn_3O_4 reducirt erforderten $0{,}0222 \times 2100$[3])	46 „
0,0015 kg Si aus SiO_2 reducirt erforderten $0{,}0015 \times 7830$.	12 „
	1700 W.-E.

b) Von 1 kg Roheisen mitgenommene Wärme[4]) 265 W.-E.

1) Zur Vermeidung allzu grosser Ziffern ist die Wärmebilanz auf 1 kg Roheisen bezogen, während die frühere Berechnung die Darstellung von 100 kg Roheisen betraf. Eine Theilung jener früheren Ziffern durch 100 giebt sofort die für die vorliegende Rechnung entfallenden Werthe.

2) Seite 48.

3) Der Wärmeverbrauch zur Zerlegung des Mn_3O_4 ist in runder Ziffer angenommen. Vergleiche auch Seite 48.

4) Die Wärme lässt sich bei jedem einzelnen Versuche durch Eingiessen einer gewissen Menge des flüssigen Roheisens in Wasser besonders ermitteln. Meistens

c) *Von der Schlacke mitgenommene Wärme.* Die Menge der erfolgenden Schlacke betrug auf 1 kg Roheisen 0,6438 kg; also mitgenommene Wärme, sofern man die von 1 kg Schlacke mitgenommene Wärme zu 450 W.-E. annimmt[1]), 0,6438 × 450 260 W.-E.

d) *Durch die Gichtgase mitgenommene Wärme.* Die Menge der Gichtgase für je 1 kg Roheisen ist 3,967 kg; ihre durch Messung gefundene Temperatur war 173° C.; ihre spezifische Wärme durchschnittlich 0,237 (für sehr genaue Rechnungen würde man die von den einzelnen Bestandtheilen mitgeführte Wärme getrennt berechnen müssen). Gesammte mitgenommene Wärme 3,967 × 173 × 0,237 188 „

e) *Zur Verdampfung des Wassergehaltes und Erhitzung des Wasserdampfes auf die Temperatur der Gichtgase erforderliche Wärme.* Der Wassergehalt der Beschickung und der Kohlen ist als hygroskopische Feuchtigkeit zugegen und beträgt für 1 kg Roheisen 0,1514 kg. Bei einer Durchschnittstemperatur der aufgegebenen Materialien von 7° C. musste dieser Wassergehalt um 93° C. erhitzt und dann verdampft werden; die hierzu erforderliche Wärme[2]) ist (93 + 536) 0,1514 . . . 95 „
Hierzu kommt die zur Höhererhitzung des Wasserdampfes erforderliche Wärme (spezifische Wärme des Wasserdampfes = 0,48): 0,1514 × 73 × 0,48 . 5 „
100 W.-E.

f) *Zur Zerlegung der Carbonate erforderliche Wärme.* Aus den Erzen wurden für je 1 kg Roheisen 0,1664 kg Kohlensäure ausgetrieben[3]); also Wärmeverbrauch 0,1664 × 943 157 „

g) *Zur Erwärmung des Kühlwassers der Formen verbrauchte Wärme.* 4 Formen gebrauchten in der Minute 6 l Wasser, dessen Temperatur um 13° C. stieg; und da in der Minute 10,4 kg Roheisen erzeugt wurden, so entfallen auf 1 kg Roheisen 0,58 l Wasser; also Wärmeverbrauch 0,58 × 13 7 „

Wärmebilanz.

Einnahme.	W.-E.	Ausgabe.	W.-E.
a) Durch Verbrennung von Kohle	2528	a) Zur Reduction	1700
b) Durch den erhitzten Wind . .	198	b) Von dem Roheisen mitgenommen	265
		c) Von der Schlacke mitgenommen	260
		d) Durch die Gichtgase mitgenommen	188
		e) Zur Verdampfung und Ueberhitzung des Wassers	100
		f) Zur Zerlegung der Carbonate .	157
		g) Zur Erwärmung des Kühlwassers	7
		h) Durch Ausstrahlung der Wände (als Restbetrag)	49
	2726		2726

genügen jedoch Durchschnittsziffern. Gruner fand bei grauem Roheisen 280 bis 285 W.-E., bei weissem Roheisen 260—265 W.-E. (Gruner-Steffen, Analytische Studien über den Hochofen, Seite 129.)

1) Gruner fand für 1 kg Schlacke bei Weisseisendarstellung 450 W.-E., bei Graueisendarstellung 500 W.-E.

2) Verdampfungswärme des Wassers = 536 W.-E.

3) Zerlegungswärme der Carbonate. Calciumcarbonat (Kalkstein) erfordert nach Thomsen, um in Kalk und Kohlensäure zerlegt zu werden, für je 1 kg des ursprünglichen Materiales 425 W.-E. (Wagners Jahresbericht für chemische Technologie 1880, Seite 397). Da 1 Gewichtstheil Calciumcarbonat 0,56 CaO und 0,44 CO_2 enthält, beträgt der Wärmeverbrauch, um 1 kg Kohlensäure auszutreiben, 943 W.-E. Ueber die Zerlegungswärme des kohlensauren Eisens (Spatheisensteines u. s. w.) liegen bislang keine Ermittelungen vor; wo dieser Fall vorkommt, wird man deshalb vorläufig einen gleichen Wärmeverbrauch für die Gewichtseinheit ausgetriebener Kohlensäure wie bei der Zerlegung des Kalksteines annehmen müssen.

Zweites Beispiel. In einem mit Koks betriebenen Hochofen zu Ormesby von 23,2 m Höhe, 584 cbm Inhalt wurden in 24 Stunden 63 000 kg graues Roheisen Nr. 3 erzeugt.[1]) Zur Darstellung von 1 kg Roheisen waren erforderlich:

1,10 kg Koks mit 92,5 Hunderttheilen Kohle; also Verbrauch an Kohlenstoff für 1 kg Roheisen 1,017 kg.

2,44 „ Erz (gerösteter Blackband, dessen Eisengehalt bei der Röstung in Fe_2O_3 übergegangen war).

0,625 „ Kalkstein mit 43 Hunderttheilen Kohlensäure, enthaltend 0,073 kg Kohlenstoff, 0,197 kg Sauerstoff; also verflüchtigte Kohlensäure für 1 kg Roheisen 0,27 kg.

Die Menge der mit 1 kg Roheisen erfolgenden Schlacke betrug 1,48 kg.
Windtemperatur 780 °C.
Gichttemperatur 412 °C.
Verhältniss $\frac{CO_2}{CO}$ (m) = 0,542.

Die durchschnittliche Zusammensetzung des erzeugten Roheisens, welche in der genannten Quelle nicht mitgetheilt ist, kann, der gewöhnlichen Zusammensetzung des Clevelandroheisens Nr. III entsprechend, folgendermaassen angenommen werden:

C	3,4	Hunderttheile
Si	1,2	„
Mn	0,5	„
P	1,3	„
Fe	93,6	„
	100,0	Hunderttheile.

Der Hochofen erhielt für 1 kg dargestellten Roheisens Kohlenstoff:

aus den Koks .	1,017 kg
„ dem Kalkstein	0,073 „
	1,090 kg
Von dem Roheisen aufgenommene Kohle	0,034 „
mithin in den Gichtgasen enthalten	1,056 kg

Die Menge des Kohlenoxydes in den Gichtgasen für 1 kg Roheisen ist also

$$y = \frac{77 \times 1{,}056}{33 + (21 \times 0{,}542)} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; 1{,}831 \text{ kg}$$

Kohlensäure in den Gichtgasen $m\,y = 0{,}542 \times 1{,}831 =$. . . 0,992 „

Hieraus wird in folgender Weise die Gesammtmenge der Gichtgase und das Gewicht des dem Ofen zugeführten Gebläsewindes abgeleitet.

Der gesammte Sauerstoffgehalt der Gichtgase beträgt:

Sauerstoff in 1,831 kg CO	1,046 kg
„ „ 0,992 „ CO_2	0,721 „
	1,767 kg

Hiervon entstammte der Beschickung:

aus der Kohlensäure des Kalksteines	0,197 kg	
„ „ Reduction von 1,337 kg Fe_2O_3 zu 0,936 kg Fe	0,401 „	
„ „ „ von 0,025 kg SiO_2 zu 0,012 kg Si	0,013 „	
„ „ „ von 0,007 kg MnO zu 0,005 kg Mn	0,002 „	
„ „ „ von 0,029 kg P_2O_5 zu 0,013 kg P	0,016 „	
		0,629 „
mithin durch den Gebläsewind zugeführt		1,138 kg

1) Die Betriebsangaben sind theils Gruners mehrfach erwähnter Abhandlung (Annales des mines, série 7, tome II, p. 52), theils den Mittheilungen von L. Bell (Bell-Tunner, Entwickelung und Verwendung der Wärme in Eisenhochöfen) entnommen. Obgleich die Ziffern grossentheils nur Annäherungswerthe darstellen, sind sie doch ausreichend zur Erreichung des Zweckes: den Wärmeverbrauch in einem grossen mit Koks auf graues Roheisen betriebenen Hochofen dem Wärmeverbrauche des zuerst besprochenen Hochofens gegenüber zu stellen.

Diese 1,138 kg Sauerstoff führten Stickstoff in den Ofen $\frac{77}{23} \times 1,138 =$ 3,810 kg; also

Gewicht des trockenen Gebläsewindes für je 1 kg Roheisen 1,138 + 3,810 4,948 kg

Gewicht der trockenen Gichtgase für je 1 kg Roheisen:

CO	1,831	
CO_2	0,992	
N	3,810	 6,633 kg

1. Wärmeeinnahme.

a) Durch Verbrennung von Kohlenstoff. Die Gichtgase enthalten für 1 kg Roheisen 0,992 kg CO_2; hiervon entstammen 0,197 kg der Beschickung, mithin sind 0,795 kg durch Verbrennung von Kohle erzeugt. 0,795 kg CO_2 entsprechen 0,217 kg Kohle. Im Ganzen ist Kohlenstoff verbrannt 1,017 − 0,034 = 0,983 kg; hiervon ab jene 0,217 kg, welche zu CO_2 verbrannten, giebt 0,766 kg für die Verbrennung zu CO.

Also Wärmeerzeugung:

durch Verbrennung zu CO_2 0,217 × 8080	1753 W.-E.
„ „ „ CO 0,766 × 2473	1894 „
	3647 W.-E.

b) Durch den erhitzten Wind. 4,948 kg auf 780° C. erhitzter Wind führte Wärme in den Ofen 4,948 × 780 × 0,237 914 W.-E.

2. Wärmeausgabe.

a) Zur Reduction.

0,936 kg Fe aus Fe_2O_3 reducirt 0,936 × 1796	1681 W.-E.
0,012 „ Si aus SiO_2 reducirt 0,012 × 7830	94 „
0,005 „ Mn aus MnO reducirt 0,005 × 1723	9 „
0,013 „ P aus P_2O_5 reducirt 0,013 × 5760	74 „
	1858 W.-E.

b) Von dem grauen Roheisen mitgenommene Wärme (S. 563) . 280 W.-E.

c) Von der Schlacke mitgenommene Wärme. Die Menge der Schlacke betrug 1,48 kg; ihre mitgenommene Wärme in 1 kg 500 W.-E. (S. 563); also Gesammtwärme 1,48 × 500 740 „

d) Durch die Gichtgase mitgenommene Wärme 6,633 × 412 × 0,237 647 „

e) Zur Verdampfung und Ueberhitzung des Wassergehaltes der Beschickung. Die hygroskopische Feuchtigkeit der Erze ist nicht angegeben, dürfte aber auf 4 Hunderttheile des Erzgewichtes zu schätzen sein; Feuchtigkeit der Koks 2½ Hunderttheile. Also wurden Wasser verdampft

aus 2,44 kg Erz	0,097 kg
„ 1,10 „ Koks	0,028 „
	0,125 kg

Verdampfungswärme 0,125 (90 + 536)	78 W.-E.	
Für die Ueberhitzung auf 412° C.: 312 × 0,125 × 0,48	18 „	96 W.-E.

f) Zur Zersetzung des Kalksteines 254 W.-E.

Wärmebilanz.

Einnahme.	W.-E.	Ausgabe.	W.-E.
a) Durch Verbrennung von Kohle	3647	a) Zur Reduction	1858
b) Durch den erhitzten Wind . .	914	b) Von dem Roheisen mitgenommen	280
		c) Von der Schlacke mitgenommen	740
		d) Durch die Gichtgase mitgenommen	647
		e) Zur Verdampfung und Ueberhitzung des Wassers . . .	96
		f) Zur Zerlegung des Kalksteines .	254
		g) Durch Ausstrahlung und Kühlwasser (als Restbetrag) . .	686
	4561		4561

In dem mit Koks auf graues Roheisen betriebenen Hochofen sind fast sämmtliche Ausgaben höher, und die Erklärung dafür lässt sich in den Verschiedenheiten der Betriebsverhältnisse finden.

Der Wärmeverbrauch für die Reduction ist höher, weil die Reduction des in dem grauen Roheisen enthaltenen Siliciums, Mangans und Phosphors grössere Wärmemengen verbraucht. Die von dem gebildeten Roheisen aus dem Hochofen mitgenommene Wärme aber ist bei grauem Roheisen ohnehin beträchtlicher als bei Weisseisen, wenn auch der Unterschied nicht gross ist.

Ein erheblicherer Unterschied zeigt sich bei der von den Schlacken mitgenommenen Wärme, welche bei der Graueisendarstellung mit Koks fast dreimal so hoch sich beziffert als bei der Weisseisendarstellung. Der Grund liegt in dem Umstande, dass die Clevelanderze und die Koksasche nicht allein an und für sich schon mehr schlackengebende Bestandtheile enthalten als die Erze und die Holzkohlenasche des Vordernberger Ofens, sondern auch einer noch grösseren Menge Zuschläge bedürfen, damit die für Graueisendarstellung erforderliche basische Beschaffenheit der Schlacke entstehe. Die Schlackenmenge bei der Graueisendarstellung ist also mehr als doppelt so gross als in dem andern Hochofen; jedes Kilogramm Schlacke bei dem ersteren Betriebe nimmt aber auch mehr Wärme aus dem Ofen mit fort als bei dem letzteren.

Aehnlich ist es bei der durch die Gichtgase entführten Wärme. Zur Deckung des Wärmeverbrauches für Reduction, Schlackenschmelzen u. s. w. erfordert der auf graues Roheisen betriebene Kokshochofen eine grössere Wärmemenge als der andere, welche durch erhöhten Brennstoffverbrauch erzeugt wird. Die Menge der Gichtgase und somit auch die von ihnen mitgenommene Wärmemenge ist demnach grösser.

Die grössere Menge Kohlensäure in der Beschickung des auf graues Roheisen betriebenen Hochofens erfordert auch eine grössere Wärmemenge zu ihrer Austreibung.

Der Unterschied in dem Wärmeverbrauche für Kühlwasser und Ausstrahlung erklärt sich zum Theil aus der geringeren Leistung des Kokshochofens, bezogen auf den gleichen räumlichen Inhalt. Der Kokshochofen liefert bei einem Rauminhalte von 584 cbm täglich 63 000 kg Roheisen, für 1 cbm also 108 kg; der Holzkohlenhochofen zu Vordernberg liefert bei 31,9 cbm Inhalt täglich 15 000 kg oder für 1 cbm 470 kg Roheisen, d. i. mehr als viermal so viel als jener. Hierzu kommt aber noch der Umstand, dass die Temperatur in dem mit Koks auf graues Roheisen betriebenen Hochofen höher ist und nothwendigerweise höher sein muss, als in dem andern Ofen; die Ofenwände werden stärker erhitzt, bedürfen einer ausgedehnteren Kühlung, strahlen reichlichere Wärmemengen aus, und der Wärmeverbrauch fällt höher aus.

6. Die Betriebsergebnisse.

Auf Grundlage der von den Aufsehern geführten täglichen Vermerke über den Verbrauch an Erzen, Zuschlägen, Kohlen und über den Erfolg an Roheisen wird das Schmelzbuch (auch Betriebsbuch genannt) geführt,

welches in übersichtlicher Weise neben einander den stattgehabten Verbrauch wie den Roheisenerfolg erkennen lässt, und zwar zunächst in täglichen Summen, aus denen sich durch Zusammenzählen alsdann die Summen für die Woche, den Monat u. s. w. ergeben. Neben dieser Abrechnung pflegt das Schmelzbuch tägliche Anmerkungen über Pressung und Temperatur des Windes, Beschaffenheit des erfolgten Roheisens und über alle jene Vorkommnisse zu enthalten, deren Kenntniss von Belang für die Beurtheilung des Hochofenganges ist. Auf diese Weise bildet ein mit Sorgfalt geführtes Schmelzbuch eine Chronik des Hochofenbetriebes, lehrreich für den, welcher sie mit Aufmerksamkeit benutzt.

In bestimmten Zeitabschnitten aber, häufig allwöchentlich, jedenfalls monatlich und der Regel nach auch am Jahresschlusse, berechnet man aus den Summen des stattgehabten Materialienverbrauches und gewonnenen Roheisens die durchschnittlichen Betriebsergebnisse, bezogen auf die Einheit der Zeit, des Gewichtes an verbrauchten Materialien und erfolgtem Roheisen u. s. w. Ein Vergleich dieser Betriebsergebnisse, welche zu verschiedenen Zeiten, unter Umständen auch bei verschiedenen Oefen, erlangt wurden, giebt einen Maassstab für den mehr oder minder günstigen Verlauf des Hochofenbetriebes und spornt dazu an, den Ursachen nachzuforschen, welche diese Abweichungen, insbesondere die ungünstigeren Ergebnisse, hervorriefen.

Dass übrigens Hochöfen, welche einen verschiedenen Rauminhalt besitzen, verschiedene Erze verhütten, verschiedene Brennstoffe benutzen, verschiedene Roheisensorten darstellen u. s. w., auch sehr abweichende Betriebsergebnisse liefern können und oft naturgemäss liefern müssen, versteht sich nach den Eigenthümlichkeiten des Hochofenschmelzens von selbst. Lehrreich ist ein Vergleich der Betriebsergebnisse auch in diesen Fällen, indem er auf die Einflüsse hinweist, welche durch Rauminhalt des Ofens, Reducirbarkeit und Eisengehalt der Erze u. s. w. auf den Ausfall der Betriebsergebnisse ausgeübt werden.

Die wichtigsten dieser Betriebsergebnisse sind folgende.

a) **Roheisenerzeugung des Hochofens in bestimmter Zeit** (in einem Tage oder einer Woche). Die Erzeugungsfähigkeit der Hochöfen ist von verschiedenen Umständen abhängig. Zunächst von ihrer Grösse. Der grössere Ofen wird bei Verhüttung der gleichen Erze und Darstellung des gleichen Roheisens mehr Roheisen als der kleinere liefern. Dass jedoch die Roheisenerzeugung der Hochöfen nicht im einfachen Verhältnisse mit ihrem Rauminhalte zunimmt, dass, mit anderen Worten, ein Ofen, welcher den doppelten Rauminhalt als ein zweiter Ofen besitzt, doch nicht die doppelte Menge Roheisen zu erzeugen pflegt, wurde schon früher hervorgehoben.

Auch die Beschaffenheit der Erze ist hierbei maassgebend. Schwerreducirbare Erze bedürfen einer längern Durchsetzzeit als leichtreducirbare, und bei ihrer Verhüttung liefert der Hochofen demnach weniger Roheisen. Nicht minder wichtig ist ihr Eisengehalt. Je eisenreicher die Erze sind, desto grösser ist die Menge der gleichzeitig in dem Ofen anwesenden Eisenoxyde, desto grösser bei gleicher Durchsetzzeit die Eisenerzeugung. Zu dem Eisengehalte der Erze pflegt aber die Menge der schlackengebenden Bestandtheile im umgekehrten Verhält-

nisse zu stehen; je weniger Schlacke gebildet und geschmolzen wird, desto weniger Wärme wird für diesen Zweck verbraucht, desto mehr Eisen kann bei gleicher Wärmeentwickelung erzeugt werden.

Inwiefern die Beschaffenheit des erfolgenden Roheisens für die Erzeugungsfähigkeit des Hochofens von Einfluss ist, folgt aus dem früher Gesagten über die Eigenthümlichkeiten des Hochofenschmelzens und die zu erfüllenden Bedingungen für Darstellung bestimmter Roheisengattungen.

Bei Darstellung gewöhnlichen Weisseisens ist die Leistung des Hochofens am grössten. Die Leistungsfähigkeit eines und desselben Hochofens bei der Erzeugung verschiedener Roheisensorten verhält sich ungefähr folgendermaassen:

Gewöhnliches Weisseisen	Tiefgraues Roheisen	Grobspiegeleisen mit 10—12 Hunderttheilen Mangan	Hochmanganhaltiges Spiegeleisen	Siliciumeisen mit 12—15 Hunderttheilen Silicium	Eisenmangan mit 75—80 Hunderttheilen Mangan
100	65	60	40	35	25.

Endlich darf auch bei einem Vergleiche der Tagesleistungen verschiedener Hochöfen nicht unberücksichtigt bleiben, dass man durch Vermehrung der zugeführten Windmenge bei vielen Hochöfen im Stande ist, jene Tagesleistung zu steigern, sofern man einen Mehraufwand an Brennstoff für die gleiche Menge erzeugten Roheisens nicht scheut. Um mit der geringsten Menge Brennstoff zu schmelzen, bedarf der Hochofen einer bestimmten Menge Wind (Seite 515); steigert man diese Windmenge, verbrennt man also mehr Brennstoff als zuvor in der gleichen Zeit, so wird zwar die Wärmeausnutzung ungünstiger und der Ofen wird stärker angegriffen, aber die Menge des erfolgenden Roheisens nimmt zu. Wirthschaftlich lässt sich ein solches Verfahren freilich nur rechtfertigen, wenn die Roheisenpreise hoch und die Brennstoffpreise niedrig genug sind, dass die Mehrerzeugung des Hochofens einen Ausgleich für die Erhöhung des Brennstoffverbrauches zu bieten vermag.

Mit der Grösse der Hochöfen, mit der Vervollkommnung der Winderhitzer und des Ofenbaues ist die Leistungsfähigkeit der Hochöfen seit dem Beginne des neunzehnten Jahrhunderts von Jahrzehnt zu Jahrzehnt gewachsen. Während in früheren Jahrhunderten ein Hochofen in 24 Stunden oft weniger als 1 t Roheisen lieferte, gehört eine Tageserzeugung von nicht über 5 t in der Jetztzeit zu den seltenen Ausnahmen und kommt nur noch bei Holzkohlenhochöfen vor, welche für die unmittelbare Darstellung von Gusswaaren betrieben werden. Die meisten Holzkohlenhochöfen, z. B. schwedische, liefern täglich 12 bis 20 t Roheisen, einzelne nordamerikanische von grösseren Abmessungen allerdings erheblich mehr. So z. B. erzeugte der Hinkle-Ofen in Ashland (Wisconsin), welcher eine Höhe von 18 m bei 3,6 m Durchmesser im Kohlensack besitzt, vom August 1888 bis August 1889 täglich mehr als 80 t Roheisen.[1])

Bei den mit Koks betriebenen Hochöfen mittlerer Grösse (350 bis 450 cbm) beträgt die Tageserzeugung beim Betriebe auf gewöhnliches Weisseisen meistens 100 bis 150 t, beim Betriebe auf graues Roheisen 70 bis 120 t. Unter den deutschen Hochöfen pflegen sich die mit

1) Journal of the Charcoal Iron Workers, vol. VIII, p. 274.

leichtreducirbaren Bohnerzen auf gewöhnliches phosphorreiches Weisseisen (Thomaseisen) betriebenen Hochöfen zu Ilsede durch starke Roheisenerzeugung auszuzeichnen. Im Jahre 1891 lieferten die Hochöfen II und III dieses Eisenwerkes jeder durchschnittlich 187 t täglich.[1])

Sehr grosse Tageserzeugungen weisen auch bei dem Betriebe mit Koks einige grössere nordamerikanische Hochöfen auf. Sie ermöglichen diese ungewöhnlichen Leistungen, indem sie reiche Erze unter thunlichster Beschleunigung des Schmelzganges, mitunter freilich ohne Rücksicht auf den hohen Koksverbrauch, verschmelzen. Einige solcher Oefen liefern bei einem Rauminhalte von 500 bis 600 cbm mehr als 300 t täglich. So z. B. erzeugte der Lucy-Ofen der Edgar Thomson Steel Works bei 515 cbm Rauminhalt im Jahre 1889 täglich 315 t Roheisen[2]); ein Hochofen zu Bessemer bei Pittsburg im Jahre 1887 durchschnittlich etwa 250 t, während die grösste Tagesleistung auf 414 t stieg.[3])

Die in dem zuerst genannten Ofen verhütteten Erze vom Oberen See gaben 62 Hunderttheile Ausbringen, der Kalkzuschlag betrug 28 Hunderttheile vom Erzgewichte, die Menge der mit 1 t Eisen erfolgenden Schlacke nur 540 kg.

Dagegen liefern die grossen Hochöfen Clevelands mit einem Rauminhalte bis zu 1100 cbm (Seite 360) nicht mehr als etwa 130 t täglich; aber sie haben fast die dreifache Menge Schlacke zu schmelzen.[4])

b) Erzsatz auf die Gewichtseinheit (1000 kg) des Brennstoffs. Der Erzsatz ist grösser bei Darstellung von gewöhnlichem Weisseisen als bei Spiegeleisen- oder Graueisendarstellung, übrigens aber auch von der Reducirbarkeit und dem Eisengehalte der Erze, der Grösse des Hochofens, dem Grade der Winderhitzung, der Beschaffenheit der Brennstoffe u. s. w. abhängig. In den meisten Fällen wird auf 1000 kg Koks der Erzsatz (einschliesslich der Zuschläge) 2000—3000 kg, auf 1000 kg Holzkohlen 2000—3500 kg betragen. Je reicher die Erze sind, je mehr Eisen demnach aus der gleichen Menge der Erze erfolgt, desto niedriger ist im Allgemeinen der Erzsatz. Für die Ausnutzung der Wärme im Hochofen kann deshalb die Höhe des Erzsatzes nicht etwa ohne Weiteres als Maassstab dienen. Bei Holzkohlenhochöfen, welche auf graues Roheisen betrieben werden, beträgt bei einem Eisengehalte der Beschickung von 33 Hunderttheilen der Erzsatz durchschnittlich 2600 kg; bei dem mehrfach erwähnten Hochofen zu Vordernberg, welcher aus einer reichen Beschickung (Eisengehalt der Beschickung etwa 44 ½ Hunderttheile) weisses Roheisen darstellte, betrug der Erzsatz einschliesslich Zuschläge 3330 kg, bei einem kleineren Ofen daselbst 3000 kg. In schwedischen Holzkohlenhochöfen, deren Beschickung aus reichen und grossentheils schwerreducirbaren Erzen besteht, beträgt bei Weisseisendarstellung der Erzsatz etwa 2400 kg, bei Graueisendarstellung nur etwa 2100 kg. Aehnliche Verhältnisszahlen ergeben sich bei nordamerikanischen Holzkohlenöfen.

1) „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 399.

2) „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 1013.

3) „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 977.

4) Eine nähere Begründung der abweichenden Erzeugungsfähigkeit der nordamerikanischen und Cleveländer Hochöfen durch Gegenüberstellung der Wärmebilanzen ist durch L. Bell gegeben: „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 1014.

Die mit leicht reducirbaren Sphärosideriten auf graues Roheisen betriebenen Kokshochöfen Clevelands ermöglichen einen Erzsatz von 2700—2800 kg, Luxemburger und Lothringer Hochöfen bei Weisseisendarstellung aus Minette einen Erzsatz von 2800—3000 kg, rheinisch-westfälische Hochöfen bei Graueisendarstellung einen solchen von etwa 2500 kg, bei Weisseisendarstellung von 2500—3000 kg. Bei Ilseder Hütte (Weisseisendarstellung) betrug 1890 der Erzsatz 2950 kg.

c) Roheisenausbringen aus den Erzen und dem Möller. Die Berechnung, welche sich ohne Schwierigkeit aus dem Gewichte der verbrauchten Erze (oder des Möllers) und dem Gewichte des erfolgten Roheisens anstellen lässt und deren Ergebniss in Hunderttheilen des Erz- oder Möllergewichtes ausgedrückt zu werden pflegt, ist erforderlich, um den Ausweis zu erhalten, ob das Ausbringen in verschiedenen Zeiten unverändert geblieben ist, und ausserdem muss auch bei Beurtheilung der übrigen Betriebsergebnisse das Ausbringen in Berücksichtigung gezogen werden. Die tägliche Leistung eines Ofens wird durchschnittlich grösser, der Brennstoffverbrauch für 1000 kg dargestelltes Roheisen geringer sein, wenn das Ausbringen hoch als wenn es niedrig ist. Da ein kleiner Theil des Eisengehaltes der Erze verschlackt zu werden pflegt, das Roheisen aber neben Eisen jedenfalls Kohlenstoff, häufig Silicium, Phosphor, Mangan u. s. w. in erheblichen Mengen enthält, kann das Ausbringen nicht genau mit dem durch Analyse gefundenen durchschnittlichen Eisengehalte übereinstimmen. Nur bei sehr starkem Rohgange, wobei grosse Eisenmengen verschlackt werden, ist das Ausbringen niedriger als der Eisengehalt. Am nächsten wird es bei Darstellung gewöhnlichen manganarmen Weisseisens damit übereinstimmen; bei Graueisendarstellung und bei Spiegeleisendarstellung ist es um einige Hunderttheile höher.

Meistens beträgt das Ausbringen aus dem Möller 30—40 Hunderttheile. In einzelnen Fällen, wo die Preise der Erze und Kohlen billig sind, lassen sich auch Beschickungen mit einem Ausbringen von nicht über 25 Hunderttheilen noch mit Nutzen verhütten, in anderen Fällen — bei Verhüttung reicher Erze — ist man in der günstigen Lage, ein Ausbringen von mehr als 40 Hunderttheilen zu erzielen. Jene oben erwähnten, durch hohe Tageserzeugung ausgezeichneten Hochöfen Nordamerikas verarbeiten Beschickungen mit 48 Hunderttheilen Ausbringen; ein gleich hohes Ausbringen haben Bilbaoer Hochöfen.

Im Allgemeinen ist bei Darstellung von Graueisen und Spiegeleisen das Ausbringen aus dem Möller geringer als bei Weisseisendarstellung theils in Rücksicht auf den Umstand, dass, wenigstens bei Anwendung mineralischer Brennstoffe, für die Darstellung der erstgenannten Roheisensorten grössere Mengen von Zuschlägen erforderlich zu sein pflegen, um eine ausreichend basische Schlacke zu bilden, theils auch, weil eine grössere Schlackenmenge überhaupt, also ein nicht zu hoher Eisengehalt der Beschickung, den Betrieb auf jene Roheisensorten erleichtert.

d) Verbrauch an Brennstoff zur Darstellung einer bestimmten Menge — gewöhnlich 1000 kg — Roheisen. Die öftere Berechnung dieser Ziffer ist wichtig. Sie kann als Maassstab für die

Wärmeausnutzung im Hochofen dienen, und sie beeinflusst die Erzeugungskosten des Roheisens.

In dem oberen Theile des Hochofens werden die höheren Oxydationsstufen des Eisens durch das hier im Ueberschuss vorhandene Kohlenoxyd zu Eisenoxydul reducirt; soll auch dieses nur durch Kohlenoxyd zu metallischem Eisen reducirt werden, ist nach Seite 265 hierfür ein Ueberschuss des Reductionsmittels erforderlich, welcher der Formel $FeO + 3\,CO = Fe + CO_2 + 2\,CO$ entspricht. Damit 1 Atom oder 56 Gewichtstheile Eisen reducirt werden, müssen demnach 3 Atome oder 36 Gewichtstheile Kohlenstoff durch Gebläsewind zu Kohlenoxyd verbrannt werden; für 1000 kg Eisen demnach 643 kg Kohlenstoff. Hierzu kommen etwa 40 kg Kohlenstoff, welche von den 1000 kg Eisen aufgenommen werden; also zusammen 683 kg. Reicht nun die bei der Verbrennung jener 643 kg Kohlenstoff entwickelte Wärme im Vereine mit der vom Gebläsewinde zugeführten Wärme aus, den Wärmebedarf des Ofens zu decken und die erforderliche Temperatur im Ofen zu entwickeln, so würden demnach 683 kg Kohlenstoff genügen, 1040 kg Roheisen zu erzeugen, mithin für 1000 kg Roheisen 657 kg Kohlenstoff erforderlich sein. Ein Mehrverbrauch an Kohlenstoff entsteht, wenn der Wärmeverbrauch des Ofens grösser ist, als hier angenommen wurde. Dieser Fall ist der häufigere.

Ist dagegen der vom Brennstoffe zu deckende Wärmeverbrauch des Ofens geringer — bei Verhüttung reicher Erze mit hoch erhitztem Winde —, so kann unter Umständen der erforderliche Aufwand an Kohlenstoff noch unter die berechnete Ziffer sinken, sofern ein Theil des Eisenoxyduls durch Kohlenstoff statt durch Kohlenoxyd reducirt wird. Bei diesem Vorgange ($FeO + C = Fe + CO$) ist, wie schon auf Seite 265 hervorgehoben wurde, ein Ueberschuss des Reductionsmittels nicht erforderlich; 56 Gewichtstheile Eisen erfordern nur 12 Gewichtstheile Kohlenstoff zur Reduction, 1000 Gewichtstheile Eisen 214 kg Kohle statt der in dem oben besprochenen Falle benöthigten 643 kg. Der Wärmeverbrauch bei der Reduction durch Kohlenstoff ist aber erheblich höher als bei der Reduction durch Kohlenoxyd (Seite 266), während die Wärmeentwickelung im Ofen geringer ausfällt, sobald ein Theil des ihm zugeführten Kohlenstoffs nicht mehr durch freien Sauerstoff vor den Formen verbrannt, sondern sofort zur Reduction der Erze verbraucht wird.

Demnach tritt, wenn in Wirklichkeit bei der Reduction des Eisenoxyduls durch Kohlenoxyd ein Wärmeüberschuss vorhanden war, sehr bald Ausgleich ein, sobald der Brennstoffaufwand nur wenig verringert und hierdurch Veranlassung zur theilweisen Reduction der Erze durch Kohlenstoff gegeben wird. Eine beträchtliche Abminderung des erforderlichen Aufwandes an Kohlenstoff unter die berechnete Ziffer ist mithin nicht möglich.[1]

Bei einem schwedischen Hochofen fand Tamm[2] einen Verbrauch an reiner Kohle von 584 kg; bei dem Vordernberger Hochofen, dessen

1) R. Åkerman, Om syrsatt jerns reduction med koloxid. Jernkontorets Annaler 1882; in deutscher Uebersetzung in „Stahl und Eisen" 1883, Seite 149.

2) „Stahl und Eisen" 1883, Seite 159.

Betriebsverhältnisse auf Seite 557 mitgetheilt wurden, betrug der Kohlenstoffverbrauch 629 kg, bei einem grösseren Ofen (Nr. III) ebendaselbst sogar nur 536 kg. Diese Ergebnisse gehören zu den günstigsten, welche sich überhaupt erreichen lassen.

Der Hochofen erhält aber nicht reinen Kohlenstoff, sondern Brennmaterial, welches stets wasserhaltig ist, regelmässig Asche sowie kleinere Mengen Wasserstoff, Stickstoff u. s. w. enthält. Die im Schuppen lagernde Holzkohle enthält kaum mehr als 80 Hunderttheile festen Kohlenstoff (Seite 71); Holzkohlen, die im Freien der Einwirkung von Regen und Schnee ausgesetzt waren, und aschenreiche Koks enthalten oft noch weniger. Der erforderliche geringste Brennstoffbedarf zur Darstellung von 1000 kg Roheisen im Hochofen kann demnach auch unter den allergünstigsten Verhältnissen nicht erheblich weniger als 650 kg betragen.

Aus den früheren Darlegungen über das Hochofenschmelzen, den Wärmeverbrauch im Hochofen u. s. w. ergiebt sich, dass die Darstellung gewöhnlichen Weisseisens unter allen Roheisensorten den geringsten Wärmeverbrauch erheischt, und dass der letztere mit dem Siliciumgehalte wie mit dem Mangangehalte des Roheisens steigt. Bei Verhüttung reicher Beschickungen oder leicht reducirbarer Erze ist der Brennstoffverbrauch durchschnittlich niedriger als bei Verhüttung armer Beschickungen oder schwer reducirbarer Erze, bei grossen Oefen und Anwendung hoch erhitzten Windes durchschnittlich niedriger als bei kleineren Oefen und kälterem Winde.

Die Erfahrung lehrt auch, dass bei Anwendung von Holzkohlen der Brennstoffverbrauch unter übrigens ähnlichen Verhältnissen niedriger zu sein pflegt als bei Anwendung von Koks. Der Grund hierfür liegt hauptsächlich in dem grösseren Aschengehalte der letzteren. Der Kohlenstoffgehalt ist in einem aschenreichen Brennstoffe geringer als in einem aschenarmen, und man gebraucht deshalb von dem ersteren eine entsprechend grössere Menge, um dieselbe Menge Kohlenoxyd zu erhalten, dieselbe Wärme zu entwickeln; die Asche selbst aber bedarf, um geschmolzen (verschlackt) zu werden, einer gewissen Wärmemenge, welche ebenfalls einen Mehraufwand von Brennstoff erforderlich macht; und hierzu kommt noch der Umstand, dass gerade die Koksasche gewöhnlich noch einer entsprechenden Menge von Zuschlägen (Kalkstein) bedarf, um eine Schlacke von der erforderlichen Zusammensetzung zu liefern. Die Menge der entstehenden Schlacke und der Wärmebedarf zum Schmelzen werden grösser.

Auf einigen Werken Steiermarks und Kärntens, wo man geröstete, leicht reducirbare Spatheisensteine, welche nur geringer Zuschlagsmengen bedürfen, mit Holzkohlen auf gewöhnliches Weisseisen verarbeitet, ist der Brennstoffverbrauch zur Darstellung von 1000 kg Weisseisen nicht höher als 650 kg [1]); auf anderen dortigen Werken, deren Oefen kleiner sind oder deren Beschickung eisenärmer ist, rechnet man 750 kg Holzkohlen für 1000 kg Roheisen, immerhin ein sehr günstiges Ergebniss. Schwedische Holzkohlenhochöfen, welche auf

1) Bei dem schon erwähnten Hochofen Nr. III zu Vordernberg betrug der Kohlenverbrauch nach Fridericis Angabe sogar nur 630 kg (Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1882, Seite 3).

weisses Roheisen betrieben werden, weisen einen Brennstoffverbrauch von durchschnittlich 920 kg auf, welcher bei Graueisendarstellung auf 1025 kg steigt.[1]) Dass jedoch bei einzelnen dieser Oefen der Brennstoffverbrauch niedriger als diese Durchschnittsziffern sei, wurde schon oben erwähnt.

Auf nordamerikanischen Eisenwerken, welche mit Holzkohle auf weisses Roheisen betrieben werden, beträgt der Kohlenverbrauch für 1000 kg Roheisen 820—900 kg und steigt bei Graueisendarstellung auf 1200 kg, mitunter noch etwas höher.[2])

Beim Betriebe der Kokshochöfen beträgt der Koksverbrauch für 1000 kg Roheisen, sofern Weisseisen dargestellt wird, auch bei günstigen Verhältnissen (leicht reducirbaren Erzen, aschenarmen Koks, grosser Leistungsfähigkeit des Ofens) selten weniger als 850 kg (Ilseder Hütte 880 kg, Donawitz 850 kg) und kann bei weniger günstigen Verhältnissen bis auf 1100 kg steigen.[3]) Den niedrigsten bis jetzt erreichten Brennstoffaufwand beim Betriebe auf graues Roheisen, und zwar 857 kg Koks auf 1 t Roheisen mit 1,6 Hunderttheilen Silicium, weist der Lucy-Ofen der Edgar-Thomson-Werke auf, dessen bedeutende Erzeugungsfähigkeit schon oben besprochen wurde; andere nordamerikanische Hochöfen verbrauchen 1000 bis 1500 kg Koks.[4]) In den grossen Cleveländer Hochöfen pflegt der Koksverbrauch 900 bis 1000 kg zu betragen, auf deutschen Werken bei dem Betriebe auf Roheisen mit 2 bis 3 Hunderttheilen Silicium 1200 bis 1400 kg Koks. Mit dem Siliciumgehalte steigt der Koksverbrauch rasch; bei Darstellung von Siliciumeisen mit 10 Hunderttheilen Silicium beträgt er mindestens 2000 kg, mit 15 Hunderttheilen Silicium mindestens 2500 kg.

Spiegeleisendarstellung mit Koks erfordert, sofern der Mangangehalt nicht erheblich mehr als 12 Hunderttheile beträgt, zwar einen höheren Brennstoffverbrauch als gewöhnliches Weisseisen, ohne dass er jedoch die Höhe wie bei Darstellung tiefgrauen Roheisens erreichte. In Rheinland und Westfalen gebraucht man gewöhnlich 1100—1200 kg Koks für 1000 kg Grobspiegel. Bei hochhaltigem Spiegeleisen (20 Hunderttheile Mangan) steigt der Koksverbrauch auf 1400—1600 kg, bei Darstellung von Eisenmangan mit hohem Mangangehalte bis auf 2000 kg und darüber.

Der Brennstoffverbrauch beim Betriebe von Anthrazithochöfen stellt sich gewöhnlich etwas höher als bei Kokshochöfen.

c) Selbstkosten des erzeugten Roheisens. Insofern von den Selbstkosten und ihrem Verhältnisse zu dem Verkaufspreise des Roheisens in erster Reihe die Lebensfähigkeit eines Hochofenwerkes abhängt, bilden sie das wichtigste aller Betriebsergebnisse, zugleich aber auch dasjenige, dessen genaue Ermittelung am wenigsten einfach ist. Diese Selbstkosten setzen sich aus folgenden Einzelwerthen zusammen.

1. Ausgabe für die Erze zur Darstellung einer bestimmten Menge (1000 kg) Roheisen.

1) Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1882, Seite 481 (Bell).

2) Kupelwieser, Das Hüttenwesen auf der Weltausstellung zu Philadelphia; H. Wedding, Das Eisenhüttenwesen der Vereinigten Staaten von Nordamerika.

3) „Stahl und Eisen“ 1882, Seite 220.

4) Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. XX, p. 255.

2. Ausgabe für Zuschläge (Kalkstein).

3. Ausgabe für Brennstoffe.

4. Löhne. Der Betrag der Löhne für die Gewichtseinheit dargestellten Roheisens hängt zum Theil von örtlichen Verhältnissen, d. h. von den üblichen Lohnsätzen am Orte des Hochofenwerkes ab, mehr aber noch von der Leistung des Hochofens. Je grösser die letztere ist, desto niedriger fallen die Löhne für die Gewichtseinheit des dargestellten Roheisens aus. Aus diesem Grunde sind bei dem Betriebe von Holzkohlenhochöfen die Löhne für die Tonne Roheisen fast immer erheblich höher als bei dem Betriebe von Kokshochöfen, bei Darstellung des grauen Roheisens, Spiegeleisens oder Eisenmangans höher als bei Darstellung gewöhnlichen Weisseisens. Auf europäischen Eisenwerken pflegt bei dem Betriebe mit Koks die Höhe der Löhne für 1 t erzeugten Roheisens 3 bis 4,50 M., unter sehr günstigen Verhältnissen auch wohl noch etwas weniger als 3 M. zu betragen, während bei dem Betriebe mit Holzkohlen die Ausgabe in Anbetracht der kleineren Tageserzeugung auf 10 M. und darüber steigen kann. Höher als in Europa ist der Tagesverdienst eines Arbeiters in Nordamerika, und trotz der durchschnittlich höheren Roheisenerzeugung nordamerikanischer Hochöfen pflegen deshalb auch die Löhne für die Tonne erzeugten Roheisens dort höher als auf europäischen Eisenwerken zu sein. Das Bestreben nordamerikanischer Hochofenleute, die Erzeugungsfähigkeit ihrer Oefen bis zum äussersten zu steigern, selbst auf Kosten der Haltbarkeit der Oefen und häufig des Brennstoffs, findet in diesem Umstande zum Theil seine Begründung.

5. Die Insgemeinkosten. Man versteht hierunter eine Summe von Ausgaben, deren Betrag im Einzelnen zu geringfügig oder auch in kürzeren Zeitabschnitten zu bedeutenden Schwankungen unterworfen ist, um besonders in Rechnung gestellt zu werden. Hierher gehört z. B. die Wartung der Maschinen (Löhne, Schmiermaterialien, Reparaturkosten), die Instandhaltung des Gezähes und Inventars (der Werkzeuge, Gicht- und Schlackenwagen u. s. w.), Besoldungen der Beamten und Aufseher, Verwaltungskosten, Steuern, Amortisation, Beleuchtung und andere mehr.

Enthält das Eisenwerk neben der Hochofenanlage noch Anlagen für andere Betriebszweige, so lassen einzelne dieser Insgemeinkosten nur im Ganzen sich ermitteln (Steuern, Besoldungen, Verwaltungskosten u. a.); es muss dann nach einer als geeignet befundenen Regel ihre Vertheilung auf die einzelnen Betriebszweige bewirkt werden. In den meisten Fällen giebt das Verhältniss der bei diesem und jenem Betriebszweige gezahlten Löhne einen passenden Maassstab für die Vertheilung jener Insgemeinkosten ab.

Berechnet man die Selbstkosten des Roheisens für einen längeren Zeitabschnitt, z. B. ein Jahr, so ergiebt ein Auszug aus den Büchern ohne Weiteres die Summe jener Insgemeinkosten; will man aber für einen kürzeren Zeitabschnitt, z. B. einen Monat, eine Selbstkostenberechnung des Roheisens aufstellen, so würde man auf diese Weise kaum auf ein zuverlässiges Ergebniss rechnen können, da manche der hierher gehörigen Ausgaben überhaupt nur in einer oder in wenigen grösseren Summen im Laufe eines Jahres aufzutreten pflegen (z. B. Steuern).

In solchen Fällen hat man also die Insgemeinkosten nach Maassgabe früherer Ergebnisse in Ansatz zu bringen, und zwar wird auch hier ihre Berechnung nach dem Verhältnisse der gezahlten Löhne meistens das zuverlässigste Ergebniss liefern. Mit den Löhnen, d. h. mit der Zahl der beschäftigten Arbeiter, steigen und fallen fast sämmtliche der zu den Insgemeinkosten gehörenden Ausgaben; stellt der für die Tonne Roheisen gezahlte Lohnbetrag sich günstig, so ist dasselbe fast immer auch hinsichtlich der Insgemeinkosten der Fall, und umgekehrt.

Gewöhnlich wird der Betrag der auf 1 t Roheisen entfallenden Insgemeinkosten des Hochofenbetriebes dem Betrage der Löhne annähernd gleich sein.

Einzelne der Ausgaben, welche bei den unten folgenden Beispielen unter die Insgemeinkosten aufgenommen sind, lassen sich auch von ihnen abzweigen und besonders in Rechnung stellen, wenn man auf einem Eisenwerke die Selbstkosten in verschiedenen Zeitabschnitten des Betriebes mit einander vergleichen und die Ursachen ihrer Schwankungen thunlichst sorgfältig ermitteln will (Kohlenverbrauch bei den Dampfkesseln, Kosten der Hülfswerkstätten, z. B. der Schlosserei, u. a. m.). Für den Zweck der hier gegebenen Beispiele, einen allgemeinen Ueberblick über die Umstände zu ermöglichen, von welchen die Erzeugungskosten abhängen, würde jedoch eine solche in's Einzelne gehende Aufstellung eher hinderlich als förderlich sein.

Unter allen Roheisensorten pflegt phosphorhaltiges, nicht sehr manganreiches Weisseisen (Thomasroheisen, Puddelroheisen) die niedrigsten Erzeugungskosten zu besitzen, da es aus billigen Erzen mit verhältnissmässig geringem Brennstoffverbrauche und raschem Gange des Hochofens gewonnen werden kann; dann kommt weissstrahliges Roheisen und Spiegeleisen, dessen Selbstkosten mit dem Mangangehalte steigen. Graues phosphorarmes Roheisen pflegt etwas höhere Erzeugungskosten zu besitzen als Spiegeleisen mit mittlerem Mangangehalte, während phosphorreiches, aus Minette oder billig zu gewinnenden Sphärosideriten erzeugt, meistens zu niedrigerem Preise als dieses sich darstellen lässt.

Beispiele.

1. Es mögen, um zunächst die Art der Berechnung zu erläutern, auf einem Hochofenwerke zur Darstellung von 1 t grauen Roheisens während eines bestimmten Zeitabschnitts durchschnittlich die in nachfolgender Zusammenstellung angegebenen Schmelzmaterialien zu den ebenfalls angegebenen Einheitspreisen verbraucht worden sein; die Höhe der für 1 t erzeugten Roheisens gezahlten Löhne möge 4,82 M. betragen haben, und das Verhältniss der Insgemeinkosten zu den Löhnen möge nach dem Abschlusse der letzten Jahresrechnung = 1,1 : 1 sein; so ergiebt sich der Betrag der Selbstkosten für 1 t Roheisen in dem betreffenden Zeitabschnitte:

1430 kg gerösteter Kohleneisenstein . .	1 t zu 9,66 ℳ	13,81 ℳ
550 „ Rotheisenstein	1 „ „ 15,00 „	8,25 „
390 „ Frischschlacken	1 „ „ 6,00 „	2,34 „
	zu übertragen	24,40 ℳ

		Uebertrag	24,40 ℳ
675 kg Kalkstein	1 t zu	5,00 ℳ	3,37 „
1420 „ Koks	1 „ „	13,50 „	19,17 „
Löhne			4,82 „
Insgemeinkosten 1,1 × 4,82			5,30 „
		Summa der Selbstkosten	57,06 ℳ

2. Die Selbstkosten des in Cleveland aus gerösteten Sphärosideriten dargestellten grauen Giessereiroheisens (mit etwa 1,4 Hunderttheilen Phosphor) betrugen im Jahre 1872 für 1 t durchschnittlich [1]):

Erze	12,58 ℳ
Koks	13,33 „
Kalkstein	2,50 „
Löhne	4,08 „
Insgemeinkosten	3,91 „
	36,40 ℳ

3. Die Selbstkosten der besten (phosphorarmen und siliciumreichen) Sorten rheinisch-westfälischen Giessereiroheisens betrugen im Jahre 1878 für 1 t durchschnittlich [2]):

Erze	27,95 ℳ
Koks	17,40 „
Kalkstein	4,30 „
Löhne	4,36 „
Insgemeinkosten	6,05 „
	60,06 ℳ

4. Bei einem Luxemburger Hochofenwerke, welches aus selbstgewonnener Minette unter Zusatz manganhaltiger Erze und Puddelschlacken ohne Anwendung besonderer Zuschläge weisses phosphorreiches Roheisen erzeugte, betrugen die Selbstkosten im Jahre 1887 für 1 t Roheisen:

2985 kg Minette	1 t zu	1,60 ℳ [3])	4,77 ℳ
242 „ manganhaltiges Erz	1 „ „	15,50 „	3,75 „
57 „ Puddelschlacke	1 „ „	1,20 „	0,07 „
1001 „ Koks	1 „ „	14,94 „	14,96 „
Löhne			2,42 „
Insgemeinkosten			2,10 „
			28,07 ℳ

5. Bei einem nordamerikanischen, mit Koks theils auf Graueisen, theils auf Weisseisen betriebenen Hochofenwerke, dessen Hochöfen jeder täglich nur 50 t Roheisen durchschnittlich lieferten, betrugen im Jahre 1883 die Erzeugungskosten für 1 t Roheisen [4]):

2000 kg Erz, 1 t zu 19,11 ℳ	38,22 ℳ
1500 „ Koks, 1 t zu 15,40 ℳ	23,10 „
Kalkstein	4,20 „
Löhne und Insgemeinkosten	11,34 „
	76,86 ℳ

6. Bei dem mit Anthrazit auf graues Roheisen betriebenen Cedar Point Hochofen zu Port Henry am Lake Champlain betrugen die

1) Wachler, Vergleichende Qualitätsuntersuchungen rheinisch-westfälischen und ausländischen Giessereiroheisens, Seite 34.

2) Wachler, a. a. O., Seite 30 und 33.

3) Ueber die Gewinnungskosten der Luxemburger und Lothringer Minette vergleiche „Stahl und Eisen" 1890, Seite 682.

4) „Stahl und Eisen" 1884, Seite 233.

Selbstkosten für 1 t erzeugten Roheisens während des Jahres 1875 nach einer Veranschlagung von Kupelwieser[1]):

Erze	32,40 ℳ
Anthrazit	30,00 „
Kalkstein	2,30 „
Löhne	6,00 „
Insgemeinkosten	8,00 „
	78,70 ℳ

Dagegen betrugen die Selbstkosten bei sämmtlichen pennsylvanischen Anthrazithochöfen während des Jahres 1875 nach einer Zusammenstellung des Secretairs der Eastern Iron Masters Association durchschnittlich für die Tonne[2]):

Erze	43,28 ℳ
Anthrazit	28,84 „
Kalkstein	4,12 „
Löhne	10,28 „
Insgemeinkosten	7,44 „
	93,96 ℳ

Literatur.

a) Grössere Werke.

Percy-Wedding, Handbuch der Eisenhüttenkunde, Abth. II, S. 215 bis 306 (Analysen von Hochofengasen u. s. w., S. 658—682; Veränderungen der festen Körper).

E. F. Dürre, Die Anlage und der Betrieb der Eisenhütten. Bd. II.

M. L. Gruner, Analytische Studien über den Hochofen. Nach dem Französischen bearbeitet von J. H. Steffen. Wiesbaden 1875.

R. Åkerman, Studien über die Wärmeverhältnisse des Eisenhochofenprocesses. Deutsch von P. Tunner. Leipzig 1872.

J. L. Lowthian Bell, Ueber die Entwickelung und Verwendung der Wärme in Eisenhochöfen verschiedener Dimensionen. Frei übersetzt von P. Tunner. Leipzig 1870.

J. L. Lowthian Bell, Principles of the manufacture of iron and steel, with some notes on the economic conditions of their production. London 1884.

b) Abhandlungen.

F. Lürmann, Ueber die Inbetriebsetzung von Kokshochöfen. Berggeist 1869, S. 551; Kerpely, Bericht über die Fortschritte der Eisenhüttentechnik 1869, S. 116.

L. Merlet, Das Anblasen des Hochofens in Zeltweg. Jahrbuch der Bergakademieen zu Leoben u. a. 1874 (Bd. XXII), S. 263.

J. Kennedy, Die Inbetriebsetzung des Hochofens A der Edgar Thomson Steel Works. Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1880, S. 196.

J. Kennedy, Blast-furnace Working. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. VIII, p. 348.

E. Bellani, Das Anblasen der Kokshochöfen. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1873, S. 25.

1) Kupelwieser, Das Hüttenwesen, Seite 80. Bei der Berechnung ist 1 Dollar = 4 ℳ angenommen worden.

2) Kupelwieser, a. a. O., Seite 77.

Anblasen und Betrieb des Hochofens der Crozer Eisenwerke in Virginia. „Stahl und Eisen" 1885, S. 84.

Anblasen eines Hochofens in Alabama. „Stahl und Eisen" 1889, S. 816.

Füllen und Anblasen eines amerikanischen Hochofens. „Stahl und Eisen" 1890, S. 702.

Amerikanischer Hochofenbetrieb (Anblasen, Brennstoffverbrauch, Erzeugung, Windmenge u. s. w.). „Stahl und Eisen" 1891, S. 985; aus Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. XX, p. 255.

T. F. Witherbee, Notes on two scaffolds at the Cedar Point furnace. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. IX, p. 41.

J. P. Witherow, Removing scaffolds in blast-furnaces. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. IX, p. 60.

T. F. Witherbee, Removing obstructions from blast-furnace hearths and boshes. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. XIII, p. 675.

W. J. Taylor, The use of high explosives in the blast-furnace and of a waterspray for cooling in blowing down. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. XIII, p. 670.

F. Lürmann, Beseitigung von Versetzungen in Hochofengestellen. „Stahl und Eisen" 1886, S. 461.

Büttgenbach, Die Rettung eines Hochofens auf Neusser Hütte. Wochenschr. des Ver. deutsch. Ingenieure 1881, S. 23.

Burgers, Einbau eines neuen Schachtes bei gedämpftem Hochofen. Wochenschr. des Ver. deutsch. Ingenieure 1879, S. 354.

F. Lürmann, Dämpfen von Hochöfen. „Stahl und Eisen" 1889, S. 991.

F. Lürmann, Ueber Schlackentransport. „Stahl und Eisen" 1884, S. 143.

F. Lürmann, Neuere Schlackenwagen. „Stahl und Eisen" 1891, S. 370.

Amerikanische Schlackenwagen. „Stahl und Eisen" 1892, S. 253.

H. Wedding, Fortschritte des deutschen Hochofenbetriebes. „Stahl und Eisen" 1890, S. 930.

Das Hängen der Gichten in den Hochöfen. „Stahl und Eisen" 1892, S. 114, 336, 467, 528, 582.

Rob. Bunsen, Ueber die gasförmigen Produkte des Hochofens und ihre Benutzung als Brennmaterial. Poggendorffs Annalen, Bd. XLVI, (2. Reihe, Bd. XVI), S. 193.

Th. Scheerer und Chr. Lang, Untersuchung der Gichtgase eines norwegischen Eisenhochofens. Poggendorffs Annalen, Bd. LX (2. Reihe, Bd. XXX), S. 489.

L. Rinman und B. Fernquist, Untersuchungen über Zusammensetzung, Pressung und Temperatur der Hochofengase. Berg- und hüttenm. Ztg. 1865, S. 257.

G. Wepfer, Versuche über den Niedergang der Gichten im Hochofen. Berg- und hüttenm. Ztg. 1865, S. 398.

A. Tamm, Researches on the composition of the gases escaping from the Swedish Blast-furnaces. Iron, vol. XVI, p. 23, 46, 310, 400, 411; vol. XVII, p. 22, 58.

C. Cochrane, Der Betrieb von Hochöfen von grossen Dimensionen bei hohen Temperaturen mit besonderer Berücksichtigung der Stellung der Formen. „Stahl und Eisen" 1882, S. 434.

C. Cochrane, On the Working of blast-furnaces with special reference to the analysis of the escaping gases. Iron, vol. XXI, p. 96. Deutsch in „Stahl und Eisen" 1883, S. 201.

C. Schinz, Die Chemie des Hochofens nach Bells Untersuchungen. Dinglers polyt. Journal, Bd. CXCIV, S. 111.

L. Bell, Chemical phenomena of iron smelting. Journal of the Iron and Steel Institute 1872, I, p. 1.

L. Bell, On the use of the caustic lime in the blast-furnace. Journal of the Iron and Steel Institute 1875, Nr. II, p. 400.

C. Cochrane, Ueber die Erfolge der Verwendung von gebranntem Kalk statt Kalkstein beim Hochofenbetriebe. „Stahl und Eisen" 1890, S. 29.

Kosmann, Ueber die Verwendung von Aetzkalk beim Hochofenbetriebe. „Stahl und Eisen" 1891, S. 311.

R. Åkerman, Ueber die Reduction oxydirten Eisens durch Kohlenoxyd. „Stahl und Eisen" 1883, S. 149 ff. (Anwendung auf den Hochofenbetrieb, S. 157.)

P. Tunner, Ein Beitrag zur Kenntniss des Hochofenprocesses durch direkte Bestimmungen. Jahrbuch der österreichischen Bergakademieen, Bd. IX, S. 280; Bd. X, S. 491.

P. Tunner, Der mit Holzkohle und leicht reducirbaren Erzen betriebene Hochofenprocess. Jahrbuch der österreichischen Bergakademieen, Bd. XXI, S. 228.

P. Tunner, Zur Beurtheilung des Werthes von hocherhitztem Winde. Jahrbuch der österreichischen Bergakademieen, Bd. XXI, S. 345.

F. Kupelwieser und R. Schoeffel, Beiträge zum Studium des Hochofenprocesses durch direkte Bestimmungen. Jahrbuch der österreichischen Bergakademieen, Bd. XXI, S. 169 und 367.

W. M. Brown, The practical metallurgy of titaniferous ores. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. XI, p. 159 (auch Iron, vol. XXII, p. 62).

J. Pattinson, Carbon and other deposits from the blast-furnace in Cleveland. Journal of the Iron and Steel Institute 1876, p. 85.

M. A. Jaumain, De la composition et de la température des gaz des hauts-fourneaux. Annales des mines, série 7, tome XX, p. 323.

L. Gruner, Note sur les hauts-fourneaux belges à l'occasion du mémoire de M. Jaumain sur la température et la composition des gaz sortant du gueulard. Annales des mines, série 7, tome XX, p. 336.

F. Lürmann, Ueber die Zusammensetzung und Temperatur der Hochofengase. Zeitschr. des Ver. deutsch. Ingenieure 1882, S. 266.

Ed. Bellani, Untersuchungen über die Brennbarkeit der Hochofengase. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1876, S. 444.

H. Fehland, Ueber die Durchgangszeit der Gichten im Hochofen. „Stahl und Eisen" 1884, S. 331.

L. Bell, On the reduction of ores of iron in the blast-furnace. Journal of the Iron and Steel Institute 1887, II, p. 74.

W. Robinson, The effect of velocity and tension of gases on the reduction of ores in the blast-furnace. Transactions of the American Institute of Mininig Engineers, vol. XVII, p. 282.

S. D. Mills, Moisture in the blast. Journal of the Association of Charcoal-Iron-Workers, vol. VIII, p. 306.

G. Hilgenstock, Ueber das Verhalten des Phosphors im Hochofen. „Stahl und Eisen" 1884, S. 2.

W. Mrázek, Ueber stöchiometrische Entwürfe von Eisenhochofen-Beschickungen und Hülfstabellen für dieselbe. Jahrbuch der Bergakademieen zu Leoben, Příbram und Schemnitz, Bd. XVIII, S. 282.

W. Mrázek, Schnelle stöchiometrische Methode zum Entwerfen von Eisenhochofen-Beschickungen. Jahrbuch der Bergakademieen zu Leoben u. s. w. Bd. XIX, S. 375.

H. C. Jenkins, A graphic method for calculating blast-furnace charges Journal of the Iron and Steel Institute 1891, I, p. 151.

Fr. Toldt, Hochofenschlacken-Berechnung. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1892, S. 15.

B. Platz, Ueber Berechnung des Kalksteinzuschlages und Hochofenschlacken. „Stahl und Eisen“ 1892, S. 2.

H. Wedding, Ueber den Hochofenbetrieb mit rohen Steinkohlen. Zeitschr. für Berg-, Hütten- und Salinenwesen in Preussen, Bd. XIX, S. 5.

Anwendung von Steinkohlen beim Hochofenbetriebe. Berggeist 1869, S. 313.

Ferries selbstkokender Steinkohlenhochofen. Dinglers polyt. Journal, Bd. CCI, S. 108 und 515; Berg- und hüttenm. Ztg. 1871, S. 390.

W. Ferrie, Neuerungen an Hochöfen. „Stahl und Eisen“ 1882, II, S. 567.

W. Jones, The present position and prospects of processes for the recovery of tar and ammonia from blast-furnaces. Journal of the Iron and Steel Institute 1885, II, p. 410.

Recovery of ammonia and tar from blast-furnace gases. Engineering and Mining Journal, vol. XLV, p. 340.

J. M. Hartmann, Ueber amerikanische Anthrazit-Hochöfen. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1882, S. 489.

E. Heyrowsky, Ueber Verwendung roher Braunkohlen beim Hochofen. Zeitschr. des berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1875, S. 135.

Fr. Kupelwieser, Studien über die Verwendung von Braunkohlen beim Hochofenbetriebe. Zeitschr. des berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1881, S. 260.

P. Tunner, Ueber die Verwendung von Ligniten oder Braunkohlen im Hochofen. „Stahl und Eisen“ 1882, II, S. 426.

F. Friederici, Ueber Verwendung von Braunkohlen im Hochofen. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1882, S. 1.

A. Enigl, Ueber Mitverwendung von Maschinentorf beim Hochofenbetriebe. Zeitschr. des berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1879, S. 260.

F. Lürmann, Ueber Preis und Qualität von Koks und Kohlen für den Hochofenbetrieb. „Stahl und Eisen“ 1884, S. 278.

L. Bell, The use of raw coal in the blast-furnace. Journal of the Iron and Steel Institute 1884, p. 13; in deutscher Bearbeitung in „Stahl und Eisen“ 1884, S. 332.

W. Thörner, Beiträge zum Studium von Steinkohlen, Koks und Holzkohlen als Hochofenbrennmaterial. „Stahl und Eisen“ 1886, S. 71.

G. Jantzen, Holzkohle und Koks im Hochofenbetriebe. „Stahl und Eisen“ 1886, S. 83.

L. Bell, Vergleichende Betriebsresultate bei Holzkohlen- und Kokshochöfen. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1882, S. 478. „Stahl und Eisen“ 1882, S. 604.

H. Wedding, Die Wärmeverluste bei Hochöfen. „Stahl und Eisen“ 1892, S. 1029.

J. Wolters, Des meilleurs moyens pratiques d'obtenir économiquement une grande production dans les hauts-fournaux sans nuire à la qualité. Revue universelle 1878, tome II, p. 73; tome III, p. 17; tome IV, p. 770; in deutscher Uebersetzung in der Zeitschr. des berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten, Jahrg. 1878 und 1879.

H. Schellhammer, Studien über die Windführung beim Hochofen. Oesterr. Zeitschr. 1882, S. 421.

J. Wolters, Étude sur la fabrication de la fonte blanche pour fer fort au moyen des minettes ou minerals oolithiques du Luxembourg. Revue universelle des mines, tome XXXIX (1876 I), p. 685; dieselbe Abhandlung in deutscher Bearbeitung von E. F. Dürre in Dinglers polyt. Journal, Bd. CCXXII, S. 329.

J. Birkinbine, Operation of the Warwick furnace. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. XIV, p. 833.

J. Birkinbine, Comparison of blast-furnace records. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. XV, p. 147.

J. Gayley, Die Entwickelung des amerikanischen Hochofenbetriebes. „Stahl und Eisen" 1890, S. 1004.

VI. Die Nebenerzeugnisse des Hochofenbetriebes und ihre Verwendung.

1. Die Gichtgase.

In Anbetracht des bedeutenden Brennwerthes, welchen die Gichtgase besitzen und wegen der Eigenthümlichkeiten des Hochofenschmelzens nothwendigerweise besitzen müssen, bilden sie, wie auf Seite 395 eingehender erläutert wurde, ein werthvolles Nebenerzeugniss des Hochofenbetriebes. Die Abhängigkeit der Zusammensetzung der Gichtgase von dem Verlaufe des Hochofenschmelzens, von der Reducirbarkeit der Erze u. s. w. ergiebt sich aus dem früher Gesagten; gewöhnlich wird die Zusammensetzung des trockenen Gasgemenges innerhalb folgender Ziffern sich bewegen:

	In Raumtheilen	In Gewichtstheilen
Stickstoff	55—65, durchschnittl. etwa 60	54—60, durchschnittl. etwa 58
Kohlenoxyd	20—32, „ „ 24	22—30, „ „ 24
Kohlensäure	6—18, „ „ 12	8—23, „ „ 17
Wasserstoff	1— 6, „ „ 2	0,0— 0,4, „ „ 0,2
Kohlenwasserstoff	0— 6, „ „ 2	0— 3, „ „ 0,8

Beispiele	Raumtheile					Gewichtstheile				
	N	CO	CO_2	H	CH_4	N	CO	CO_2	H	CH_4
Holzkohlenofen zu Vordernberg, auf Weisseisen betrieben (1881)	56,7	25,5	15,3	1,7	0,8	53,3	23,8	22,4	0,1	0,4
Schwedischer Holzkohlenofen, nach Rinman (berg- und hüttenm. Ztg. 1877, S. 94)	57,3	23,1	14,8	4,3	0,5	55,0	22,1	22,3	0,3	0,3
Cleveländer Kokshochofen, nach Bell (Oesterr. Zeitschr. 1882, S. 483)	59,8	26,4	11,7	2,1	—	57,4	25,2	17,3	0,1	—
Kokshochofen Nr. II zu Eisenwerk Phönix bei Ruhrort (1875) beim Betriebe auf gewöhnliches Weisseisen, nach Stöckmann. (Die Gase des Hochofens und der Siemens-Generatoren, S. 20)	59,0	28,1	10,7	1,7	0,5	56,9	26,9	15,9	0,1	0,2
Ebenda, beim Betriebe auf manganreicheres Roheisen und bei heisserem Gange	62,8	31,0	5,3	0,5	0,4	61,5	30,1	8,1	0,03	0,2
Kokshochofen zu Esch, mit Minette auf graues Roheisen betrieben, nach Gredt („Stahl und Eisen" 1890, S. 593)	59,8	23,5	13,8	0,1	2,2	56,0	21,9	20,2	0,01	1,9

Ausserdem enthalten die Gase stets Wasserdampf, dessen Menge beispielsweise bei dem Hochofen des Eisenwerkes Phönix 8,0 Raumtheile oder 5,0 Gewichtstheile, bei dem Hochofen zu Esch 15,4 Raumtheile oder 10,3 Gewichtstheile in 100 Raum- oder Gewichtstheilen des wasserhaltigen Gasgemisches betrug.

Ferner findet sich in allen Gichtgasen mechanisch mitgeführter Staub, dessen Menge 1 bis 5 g in einem Cubikmeter zu betragen pflegt, und dessen Zusammensetzung unten Besprechung finden wird.

Von der Gewinnung, Reinigung und Verbrennung der Gichtgase war bereits früher die Rede.

Es lässt sich leicht ermessen, dass, wenn der Kohlensäuregehalt der Gichtgase vor ihrer Benutzung in Kohlenoxyd umgewandelt würde — etwa durch Hindurchleiten der Gase durch glühende Kohlen in einer Vorrichtung, welche der zur Wassergaserzeugung benutzten (Seite 118) ähnlich sein könnte —, man ein Gasgemenge erhalten würde, welches einen geringeren Stickstoffgehalt als alles Luftgas enthielte und deshalb diesem hinsichtlich seines Brennwerthes überlegen wäre. Der Grund hierfür beruht in dem Umstande, dass bei Erzeugung des Luftgases jedes Gewichtstheil Sauerstoff, welches zur Vergasung des Brennstoffs erforderlich ist, eine bestimmte Menge Stickstoff mit in das Gasgemenge führt, im Hochofen dagegen nur ein Theil des gesammten Sauerstoffgehaltes dem zugeführten Winde entstammt, ein anderer nicht unbeträchtlicher Theil bei den Reductionsvorgängen aus den Erzen und deshalb ohne den begleitenden Stickstoff in das Gasgemenge geführt worden ist.

Eine Nutzanwendung dieses Umstandes ist bislang nicht gemacht worden, hauptsächlich deshalb nicht, weil die Gichtgase auch in ihrer ursprünglichen Zusammensetzung schon für die Heizung der Winderhitzer und Dampfkessel auszureichen pflegen, und ein Mehrbedarf von gasförmigem Brennstoff beim Hochofenbetriebe selten vorliegt. Man hilft sich leicht, wenn die Gichtgase nicht ganz ausreichen sollten, durch Nachfeuern mit festen Brennstoffen.

2. Schlacken.

Die chemische Zusammensetzung der Hochofenschlacken und die Beziehungen, welche zwischen dieser chemischen Zusammensetzung und der Beschaffenheit des miterfolgenden Roheisens obwalten, wurden schon früher besprochen und durch Beispiele erläutert.

Vergegenwärtigt man sich, dass die grössere Zahl Hochöfen annähernd gleiche Gewichtsmengen Roheisen und Schlacke liefern, zahlreiche Hochöfen sogar noch mehr Schlacke als Roheisen, während das spezifische Gewicht der Schlacke nur ungefähr ein Drittel so gross ist als das des Roheisens, so wird man sich sagen, dass, wenn die Schlacke nur eines einzigen grösseren Hochofens auf die Halde gestürzt wird, ohne Benutzung zu finden, dazu im Laufe der Zeit eine beträchtliche Grundfläche erforderlich sein muss, und dass Eisenwerke mit zahlreichen Hochöfen leicht vor der Unmöglichkeit stehen können, ihre Schlacke in dieser Weise fernerhin unterzubringen.

Dieser Umstand allein schon ist für die Hochofenleute eine genügende Veranlassung, nach irgend einer Verwendung ihrer Schlacke zu suchen; lässt sich diese Verwendung aber in einer solchen Weise erreichen, dass für den Hochofenbetrieb noch ein unmittelbarer Geldgewinn daraus erzielt wird, so vereinigt man das Nützliche mit dem Nothwendigen und befördert das Gedeihen des Betriebes.

Die Verwendungsarten der Hochofenschlacke, welche im Laufe der Zeit entstanden, sind ziemlich mannigfaltig.

Verwendung zu Strassen- und Dammbauten.

Diese Verwendungsart ist einfach, und wo die Beschaffenheit der Schlacke eine solche Verwendung ermöglicht und der Bedarf an solchem Baumaterial vorliegt, ist sie sehr üblich. Für Eisenbahnbauten werden in manchen Gegenden grosse Mengen von Hochofenschlacken verbraucht. Vorzugsweise eignen sich steinige, nicht allzu kalkreiche Schlacken hierfür, welche der Zersetzung unter dem Einflusse der Atmosphärilien wenig unterworfen sind. Nach der Beschaffenheit des auszuführenden Baues ist die Form, in welcher die Schlacke hierbei zur Verwendung kommt, verschieden. In einzelnen Fällen benutzt man ohne Weiteres die Blöcke, zu denen die Schlacke in den Schlackenwagen (Seite 485) erstarrt. Bei Dammbauten am Teesflusse in Cleveland stellte man in dieser Weise Blöcke mit einem Gewichte bis zu $3^1/_2$ t her, welche auf dem Schlackenwagen selbst bis zum Damme — eine Entfernung von etwa 10 km — gefahren wurden. Häufiger wird die Schlacke zerschlagen oder auf einer Steinbrechmaschine (Seite 215) zu faustgrossen Stücken zerbrochen. In jedem Falle ist ein möglichst grosser räumlicher Inhalt des Schlackenblockes zur Verzögerung der Abkühlung wünschenswerth; je langsamer die Erkaltung vor sich geht, desto mehr verliert die Schlacke an Sprödigkeit. Langsam erkaltete Schlacke pflegt die Festigkeit des Basaltes zu besitzen, mitunter noch grössere.

Schlackensand.

Dieses Nebenerzeugniss des Hochofenbetriebes lässt sich zu mancherlei Zwecken vortheilhaft verwenden. Wo ein natürlich vorkommender Sand von geeigneter Beschaffenheit fehlt, benutzt man ihn als Material für Fusswege und Pflasterungen; bei der Mörtelbereitung bildet er einen vorzüglichen Zusatz zum Kalk an Stelle der sonst hierbei gebräuchlichen Zusätze; in noch anderen Fällen dient er als Material für Ziegeldarstellung nach dem unten beschriebenen Verfahren.

Die Bereitung des Schlackensandes, d. h. die Zerkleinerung der Schlacke, wird in verschiedener Weise bewirkt.

Bei den Holzkohlenhochöfen, welche auf graues Roheisen für den unmittelbaren Guss betrieben werden, pflegt die erfolgende zähe Schlacke eine nicht unbeträchtliche Menge Eisenkörner eingeschlossen zu enthalten. Man verbindet in diesem Falle die Zerkleinerung der Schlacke mit der Aufgabe, jenes Eisen wieder zu gewinnen, und bedient sich dazu eines Pochwerkes, welches mit einer Wäsche verbunden ist. Die Pochsohle befindet sich in einem Kasten, dessen eine schmale Seite niedriger als die übrigen ist und nur etwa 10 cm oder weniger über

die Pochsohle vorragt. Vor diesem Kasten befindet sich ein flaches Gerinne, welches schliesslich in einen noch etwas flacheren Graben ausmündet. Einzelne flache Querschwellen in dem Gerinne, in derselben Weise angeordnet wie bei den auf S. 216 beschriebenen Eisensteinwäschen, dient zum Zurückhalten der Eisenkörnchen. Die Schlackenstücke werden, wenn sie sehr gross sind, zunächst durch Hämmer in kleinere Stücke zerschlagen, und diese werden dann unter dem Pochwerke vollends zerkleint. Während des Pochens lässt man von einem höher liegenden Gerinne aus einen starken Wasserstrahl durch den Kasten des Pochwerkes fliessen, welcher alle feineren Theilchen mit fortnimmt, die gröberen Stücke aber sowie die ausgepochten Eisenkörner zurücklässt. In dem Gerinne und Graben setzt sich nun der Schlackensand ab; zunächst fallen die etwa zufällig mitgerissenen Eisenkörner nieder, dann der gröbere Sand, zuletzt der feinere, so dass man auf diese Weise im Stande ist, Sandsorten von verschiedener Korngrösse zu trennen.

Die ausgewaschenen Eisenkörner, welche man Wascheisen nennt, werden gesammelt und in den meisten Fällen, da sie dem Rosten stark unterworfen sind, beim Hochofen wieder aufgegeben. Auch bei kleineren Hochöfen ist die Menge des im Verlaufe eines Jahres erfolgenden Wascheisens oft nicht unbeträchtlich.

Schlacken, welche im dünnflüssigen Zustande aus dem Ofen kommen und demnach nur unbedeutende Mengen eingeschlossener Eisenkörnchen enthalten können — die Schlacken aller Kokshochöfen und der auf Weisseisen betriebenen Holzkohlenhochöfen —, pflegt man, um die Zerkleinerung zu erleichtern, zu körnen (granuliren), d. h. durch Einleiten unmittelbar aus der Schlackenrinne des Hochofens in bewegtes Wasser zu zertheilen. Die Schlacken nehmen dabei die Form dünner unregelmässig geformter Blättchen oder Körnchen von einigen Millimetern Durchmesser an, welche für die meisten Zwecke schon in diesem Zustande benutzbar sind, jedenfalls mit Leichtigkeit eine weitere Zerkleinerung durch Zermahlen oder dergleichen zulassen. Gewöhnlich benutzt man das von den Formen kommende Kühlwasser und leitet die Schlacke sofort in die Rinne, welche das Kühlwasser abführt. In einem tiefer stehenden Behälter wird dann die Schlacke gesammelt, während das Wasser weiter fliesst.

Wo grosse Mengen Schlacken gekörnt werden, pflegt man mit dieser Vorrichtung eine andere zum Herausheben der gekörnten Schlacke zu verbinden. Ein Becherwerk schöpft vom Boden des Behälters ununterbrochen die Schlacke empor und schüttet sie in einen seitlich stehenden, auf Schienen laufenden Wagen. Auch weniger einfache Einrichtungen sind mitunter an Stelle des Becherwerkes benutzt worden, haben jedoch ihrer grösseren Kostspieligkeit halber eine ausgedehntere Anwendung nicht gefunden.

Schlackenwolle.

Wenn man in fliessende Hochofenschlacke einen Dampf- oder Windstrahl leitet, wird sie in einzelne, feine Körnchen zertheilt, deren jedes einen mehr oder minder langen Schlackenfaden, wie einen Schweif, nach sich zieht. Diese Fäden bilden die Schlackenwolle.

Auch das Verfahren der Herstellung von Schlackenwolle ist demnach einfach. Unter die Rinne, aus welcher die Schlacke in die Wagen fällt, braucht man nur ein Dampfrohr mit einer Mündung von 6—8 mm Weite zu legen, so dass die Schlacke während des Hinunterfliessens von dem Dampfstrahle getroffen wird. Der Schlackenstrahl darf hierbei keinen grösseren Durchmesser als 10—15 mm haben. In einer dahinter stehenden, nach der Seite des Rohres zu offenen Kammer aus Eisenblech von mindestens 2 m Länge, in deren Decke eine Abzugsöffnung für den Dampf angebracht ist, kann die Schlackenwolle gesammelt werden. Theilt man die Kammer durch ein wagerechtes Blech in eine untere und eine obere Hälfte, so sammeln sich die schwereren Körnchen zu unterst, und in der oberen Abtheilung findet sich die feinere Wolle. Ein noch besseres Material als Eisenblech für die Kammer ist Drahtgewebe, an welchem die Wolle leicht haftet, und welches zugleich dem Dampfe den Durchgang verstattet.[1])

Die Schlackenwolle ist ein schlechter Wärmeleiter und fand deshalb vor einigen Jahrzehnten häufige Benutzung als Verpackungsmaterial für Gegenstände, welche stark erhitzt werden und vor Wärmeverlusten geschützt werden müssen, Leitungsröhren für Dampf, heissen Wind u. s. w. Eine üble Eigenschaft der Schlackenwolle ist jedoch ihre Zersetzbarkeit unter dem Einflusse von Feuchtigkeit und Luft. In besonders starkem Maasse sind die kalkerde- und schwefelreichen Schlacken mancher Kokshochöfen dieser Zersetzung unterworfen (hinsichtlich des chemischen Vorganges bei der Zersetzung des Schwefelcalciums vergleiche Seite 175). Aus der ursprünglich wolligen Masse wird durch Entstehung von Carbonaten und Sulfaten des Calciums mitunter ein völlig harter, steinartiger Körper; wo schwefelreiche Schlackenwolle mit metallischem Eisen in Berührung war, entsteht Schwefeleisen, welches allmählich in Eisenvitriol umgewandelt wird, so dass eine völlige Zerstörung des eisernen Gegenstandes die Folge davon sein kann. In bewohnten Räumen aber, wo man wohl Schlackenwolle als Fussbodenfüllung zu benutzen versucht hat, macht der sich entwickelnde Schwefelwasserstoff den Aufenthalt unerträglich.

Dieses nachtheilige Verhalten mancher Schlackenwolle macht es erklärlich, dass ihre Anwendung im Vergleiche zu einer früheren Zeit erheblich abgenommen hat und ihre Darstellung nur noch vereinzelt betrieben wird. Vielleicht ist man, abgeschreckt durch einzelne Misserfolge, auch in der abfälligen Beurtheilung der Anwendbarkeit der Schlackenwolle zu weit gegangen. Schlackenwolle, aus schwefelarmer und nicht allzu kalkreicher Schlacke erzeugt, wird immerhin ein geeignetes und billiges Material für die oben erwähnten Zwecke bleiben; denn ihre Wärmeleitungsfähigkeit ist sehr gering. Nach Versuchen von C. E. Emery leitet die Schlackenwolle die Wärme nur $^1/_5$—$^1/_6$ so gut als atmosphärische Luft.[2])

Vorzugsweise dürfte die Schlacke von Holzkohlenhochöfen wegen

1) Abbildung einer solchen aus Drahtgewebe hergestellten Kammer findet der Leser im Journal of the Iron and Steel Institute 1877. Im Uebrigen ist die Einrichtung sehr einfach und wird kaum einer besonderen Abbildung bedürfen.

2) Engineering and Mining Journal, vol. XXXII, p. 219; Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1881, Seite 615.

ihres geringeren Schwefel- und grösseren Kieselsäuregehaltes zur Darstellung guter Schlackenwolle sich eignen.

Darstellung von Cement (hydraulischem Mörtel).

Schon oben wurde erwähnt, dass Schlackensand, durch Körnung hergestellt, ein vortreffliches Material als Zusatz bei der Mörtelbereitung an Stelle anderer für diesen Zweck benutzter Körper bilde. Man mischt den gelöschten Kalk mit drei bis fünf Theilen Schlackensand, und ein derartiger Mörtel besitzt häufig bei entsprechender Beschaffenheit der Schlacke, wenn auch vielleicht nicht immer, hydraulische Eigenschaften, d. h. die Fähigkeit auch unter Wasser zu erhärten. Versuche, welche bereits in den sechziger Jahren über die Zerdrückungsfestigkeit gewöhnlichen, d. h. mit scharfem Mauersande oder auch mit Mauersande und rheinischem Trass zubereiteten, Mörtels und Schlackenmörtels angestellt wurden, ergaben, dass die Festigkeit des letzteren beim Erhärten an der Luft 9—16 mal so gross als die des nur mit Mauersand bereiteten Mörtels, doppelt bis dreifach so gross als die des mit Mauersand und rheinischem Trass bereiteten Mörtels war, während beim Erhärten in feuchtem Erdreich die Festigkeit des Schlackenmörtels doppelt bis vierfach so gross war als bei Zusatz von rheinischem Trass und Mauersand.[1])

Obschon der in solcher einfachen Weise bereitete Mörtel zunächst nur als Luftmörtel Verwendung fand, legten doch die gemachten Beobachtungen die Vermuthung nahe, dass es möglich sein werde, durch entsprechende Vervollkommnung des Verfahrens wirklichen, dem Puzzolancement gleichwerthigen hydraulischen Mörtel zu gewinnen.[2])

Diese Erwartung hat sich voll bestätigt, und eine ziemlich grosse Zahl von Fabriken beschäftigt sich mit der Herstellung des Schlackencementes.

Nicht alle Schlacken eignen sich jedoch gleich gut für diese Verwendung. Wenig geeignet sind sehr kieselsäurereiche Schlacken; kalkerdereiche Schlacken, welche nicht zu arm an Thonerde sind, bewähren sich am besten. Schlacken von Holzkohlenhochöfen pflegen zu arm an Kalkerde zu sein, um sich gut verwenden zu lassen. Nach Tetmajer sind alle solche Schlacken von der Benutzung ausgeschlossen, bei welchen das Verhältniss des Gewichtes der Kalkerde zu dem der Kieselsäure nicht grösser als 1,0 ist; als die geeignetsten Schlacken bezeichnet er diejenigen, in welchen sich Kalkerde zur Kieselsäure und Thonerde ungefähr wie 46 : 30 : 16 verhalten.[3])

Ein mässiger Schwefelgehalt der Schlacke ist ohne Nachtheil. Die Schlacke wird zunächst durch Einleiten in Wasser gekörnt, wie oben beschrieben wurde. Das Körnen mit Wasser ist nicht nur das

1) Zeitschr. d. Ingenieur- und Architekten-Vereines für das Königreich Hannover, Band XIII (1867), Seite 303.

2) Puzzolancement wird durch Mischen gelöschten Kalkes mit Puzzolanerde, Trass oder Santorin dargestellt. Schlackencement ist als eine Art des Puzzolancementes zu betrachten, bei welcher jene Zusätze durch entsprechend vorbereitete Hochofenschlacke ersetzt sind.

3) Vergleiche die unter Literatur genannten Abhandlungen; unter anderen auch: Notizblatt des Ziegler- und Kalkbrenner-Vereins 1887, Nr. 2.

einfachste Verfahren der Zerkleinerung, sondern es ist auch wegen der chemischen oder physikalischen Aenderungen, welche die Beschaffenheit der Schlacke hierbei erleidet, unumgänglich. Schlackenpulver, durch Zerkleinerung grösserer, langsam erkalteter Schlackenstücke gewonnen, ist für Darstellung von Schlackencement nicht brauchbar, wie durch Versuche zweifellos festgestellt worden ist.[1]) Je dünnflüssiger die Schlacke, je kälter das benutzte Wasser ist, desto günstiger soll sich die gekörnte Schlacke verhalten.

Die gekörnte Schlacke wird zunächst vollständig getrocknet, sei es auf eisernen Platten, sei es in weniger einfachen, aber leistungsfähigeren Vorrichtungen. Mitunter bedient man sich eines um eine wagerechte Achse sich drehenden Hohlcylinders, in welchem die Schlacke durch schraubenförmig angeordnete Bleche einem heissen Luftstrome entgegengeführt wird. Eine Erhitzung bis selbst zur Rothgluth beeinträchtigt nicht die Brauchbarkeit der Schlacke.

Die trockene Schlacke wird in irgend einer geeigneten Vorrichtung staubfein gemahlen, um dann mit dem inzwischen ebenfalls vorbereiteten Kalk vermischt zu werden. Der Kalk darf nur trocken, d. h. mit nur so viel Wasser gelöscht werden, dass er zu Staub zerfällt. Ein bis zwei Tage nach diesem Löschen wird der Kalk gesiebt und dann dem Schlackenmehl zugesetzt. Auf 100 Theile Schlacke kommen 15 bis 30 Theile Kalk, je nachdem die Schlacke kalkreicher oder kalkärmer war; mitunter auch wohl noch etwas mehr. Auf den Kalkerdegehalt der Schlacke bezogen beträgt der Kalkzusatz die Hälfte bis zur gleichen Menge.

Zum Mischen pflegt man sich einer Kugelmühle zu bedienen, in welcher ein nochmaliges Mahlen des Gemisches stattfindet. Ein hoher Feinheitsgrad ist wichtig für die Güte des Erzeugnisses.

Als Beispiel der Zusammensetzung eines guten Schlackencementes führt Prost[2]) nachstehende Analyse eines Schlackencementes von Donjeux an:

Sand	0,25	Hunderttheile
Kieselsäure	23,85	„
Thonerde	13,95	„
Eisenoxyd	1,10	„
Kalkerde	51,40	„
Magnesia	1,95	„
Schwefelsäure	0,45	„
Glühverlust	7,05	„

Auch zur Darstellung von Portlandcement lässt sich manche Hochofenschlacke gut benutzen.[3]) Die Zusammensetzung des Portlandcementes ist ungefähr folgende:

Kalkerde	55—63,	durchschnittlich 60	Hunderttheile
Thonerde	6—10,	„ 7,5	„
Kieselsäure	22—26,	„ 24	„

Daneben kleine Mengen Eisenoxyd, Alkalien und andere Beimengungen.

1) Tetmajer a. a. O.

2) Vergleiche Literatur.

3) Die gewöhnliche Darstellung des Portlandcementes geschieht durch inniges Mischen gemahlenen Kalksteines oder Kalkmergels und Thones in entsprechenden Gewichtsverhältnissen, Formen von Ziegeln, welche bis zum Sintern gebrannt und dann zu Pulver gemahlen werden.

In allen Fällen ist daher auch für diese Verwendung eine Anreicherung des Kalkerdegehaltes und mitunter eine Anreicherung des Thonerdegehaltes erforderlich. Die verschiedenen Bestandtheile werden im feingemahlenen Zustande gemischt und dann ebenso wie bei der gewöhnlichen Darstellung des Portlandcementes behandelt, d. h. zu Steinen geformt, gebrannt und gemahlen. Sehr gut eignen sich für diesen Zweck die thonerdereichen Schlacken mancher englischer Hochöfen (Seite 527); für den Fall, dass eine Anreicherung des Thonerdegehaltes erforderlich ist, empfiehlt Roth[1]) Bauxit als Zusatzmaterial (Zusammensetzung auf Seite 163).

Schlackenziegeln.

Die Herstellung von Schlackenziegeln, d. h. geformter, für bauliche Zwecke an Stelle gewöhnlicher Thonziegeln bestimmter Steine, ist in den zahlreichen Fällen, wo die erforderlichen Vorrichtungen dafür einmal vorhanden sind, eine lohnende Verwendung der Hochofenschlacken, sofern nicht etwa örtliche Verhältnisse, z. B. ein ausnahmsweise niedriger Preis anderer Bausteine, der Verwendung der Ziegeln hinderlich sind.

Die Verfahren zur Herstellung der Schlackenziegeln sind verschieden. Scheinbar am einfachsten würde man, wie es auch mitunter geschieht, Ziegeln durch Eingiessen der flüssigen Schlacke in Formen erhalten. Hierbei kommt aber in Betracht, dass die Schlacke um so spröder wird, je rascher man sie abkühlt. Auch wenn man den einzelnen Ziegeln die vielfache Grösse eines gewöhnlichen Thonziegels geben wollte, würde doch leicht ein Zerspringen eintreten, da infolge des Umstandes, dass die äusseren Theile rascher als die inneren abkühlen und sich zusammenziehen, Spannung entsteht. Zur Vermeidung des Uebelstandes muss man die glühenden geformten Steine in Temperöfen bringen, in welchen sie, wie Glaswaaren, einer ganz allmählichen Abkühlung während einiger Tage unterworfen werden. Hierdurch aber wird die Herstellung vertheuert.

Auf manchen Eisenwerken mischt man, um das Zerspringen der Steine zu verhüten, die noch flüssige Schlacke mit Körpern, welche ähnlich wie die Magerungsmittel bei der Verarbeitung des Thones wirken: Koks- oder Holzkohlenlösche, grobe Quarzkörner, Ziegelstücke oder dergleichen. Indem diese Körper die Menge der reinen Schlacke verringern, welche zur Ausfüllung der Form nothwendig ist, führen sie die Schwindung beim Abkühlen auf ein geringeres Maass zurück; sie vermindern aber auch unmittelbar die grosse Sprödigkeit des Schlackenkörpers, indem sie durch ihre Einlagerung das Material gewissermaassen auflockern, die Entstehung von Sprüngen erschweren und die Ausdehnung der entstandenen Risse auf ein kürzeres Maass beschränken. Das Einmischen jener Körper geschieht mit Hülfe einer Schaufel in der Schlackenrinne, durch welche die Schlacke in die Gussform einläuft. Letztere wird aus vier gusseisernen Seitenplatten hergestellt, welche sich leicht aus einander nehmen lassen, auf einer

1) Vergleiche Literatur.

gusseisernen Bodenplatte aufstehen und durch einen aufgelegten Deckel, der nach Bedürfniss durch Gewichtsstücke beschwert werden kann, geschlossen werden. Auch bei diesem Verfahren ist eine möglichst langsame Abkühlung des Schlackensteines von Vortheil. Sehr kalkreiche, an der Luft verwitternde Schlacken sind für das beschriebene Verfahren nicht geeignet. Am besten eignen sich dafür jene mässig kalkreichen und deshalb dünnflüssigen, nicht allzu thonerdearmen Schlacken, welche auch im rohen Zustande nicht selten als Bausteine Verwendung finden, wie oben beschrieben wurde.

Auch die sehr kieselsäurereichen Schlacken mancher Holzkohlenhochöfen, welche überhaupt nicht dünn fliessen, dagegen vor der völligen Erstarrung einen weichen, bildsamen Zustand durchlaufen (saigere Schlacken), gestatten eine derartige Verarbeitung nicht. In folgender Weise jedoch lassen sich auch aus diesen brauchbare Ziegeln herstellen. Die halbflüssige Schlacke wird, wenn sie mit der Schaufel aus dem Herde des Ofens entfernt ist, auf einer eisernen, als Bodenbelag dienenden Platte oberflächlich abgekühlt, so dass ein formloser Schlackenkuchen entsteht, der zwar noch bildsam, äusserlich aber doch schon halb erstarrt ist. In diesem Zustande knetet man nun die Schlacke mit der Schaufel und unter Benutzung einer hölzernen Stange in die bereit stehende, aus vier gusseisernen Seitenplatten auf gusseiserner Bodenplatte bestehende Form, indem man Vorsorge trifft, dass die schon am meisten abgekühlten Stellen des Schlackenklumpens in die Mitte der Form gedrückt werden, die heisseren Theile an die Wände kommen. Solcherart erzielt man eine gleichmässige Abkühlung und vermeidet das Zerspringen. Derartige Ziegel besitzen, für Wohngebäude, Fabrikräume und dergleichen benutzt, eine völlig ausreichende Haltbarkeit; im Freien aber der Einwirkung starken Frostes ausgesetzt, ehe sie eingemauert wurden, zerspringen sie leicht und müssen deshalb möglichst bald verwendet werden.

In allen den bisher besprochenen Fällen empfiehlt es sich, für die Schlackenziegeln grössere Abmessungen als für gewöhnliche Ziegel zu nehmen. Theils verzögert man dadurch die Abkühlung, theils spart man bei der Verwendung Arbeit und Mörtel. Damit aber die Möglichkeit nicht ausgeschlossen sei, gewöhnliche Ziegelsteine neben den Schlackenziegeln und in Verband mit ihnen zu verwenden, was in Rücksicht auf die grössere Sprödigkeit der Schlackenziegeln an einzelnen, der Beschädigung vorzugsweise unterworfenen Stellen der Gebäude (Ecken, Thür- und Fensteröffnungen u. s. w.) zweckmässig sein kann, empfiehlt es sich, die Abmessungen der Schlackenziegeln so zu wählen, dass jede einzelne in einem einfachen Verhältnisse (doppelt, dreifach, vierfach) zu der betreffenden Abmessung der gewöhnlichen Ziegeln einschliesslich der Mörtelfuge steht.

Für kalkreiche Schlacken ist das nachstehend beschriebene Verfahren zur Anfertigung von Schlackenziegeln allein anwendbar. Unter sämmtlichen Verfahren ist es in der Jetztzeit am häufigsten in Benutzung. Zwar erheischt es weit umfänglichere Einrichtungen als die oben besprochenen Verfahren, zeichnet sich aber durch Gleichmässigkeit und Güte der erfolgenden Ziegeln vor ihnen aus. Dieses Verfahren wurde im Anfange der sechziger Jahre durch Lürmann auf der

Georgs-Marienhütte bei Osnabrück ausgebildet; später entstand für den umfangreicheren Betrieb eine grössere Fabrik in Osnabrück, welche das Material für die Ziegeldarstellung von den Georgs-Marienhütter Hochöfen bezog, und seitdem ist das Verfahren bei zahlreichen anderen Hochofenwerken zur Anwendung gekommen.

Die Schlacke wird zunächst in der oben beschriebenen Weise durch Einleiten in fliessendes Wasser in Schlackensand verwandelt. Dieser Schlackensand dient ohne Weiteres als Material für Herstellung gewöhnlicher Mauerziegeln; für Ziegeln jedoch, von denen man ein sehr vollendetes Aeussere verlangt, wird er fein gemahlen. Alsdann mischt man ihn im noch feuchten Zustande mit gebranntem, ungelöschtem Kalke in einem Verhältnisse, welches theils von der chemischen Zusammensetzung, insbesondere dem Kalkerdegehalte, theils auch von den Ansprüchen abhängt, welche an die Festigkeit des fertigen Steines gestellt werden. Englische Ziegel, nach diesem Verfahren hergestellt, enthielten etwa 30 Hunderttheile Kalkerde, 25 Hunderttheile Kieselsäure, 22 Hunderttheile Thonerde, 10 Hunderttheile Wasser, übrigens Magnesia, Eisenoxyd u. s. w.[1]), in keinem Falle ist also bei Verwendung basischer Schlacken der erforderliche Zusatz sehr bedeutend.

Ein Zusatz von Wasser ist nicht erforderlich, da die gekörnte Schlacke mehr Wasser mitzubringen pflegt, als für die Bindung nothwendig ist.

Die Mischung von Kalk und Schlacke kommt nun in eine gusseiserne, mit Stahlplatten ausgelegte Form, welche die Abmessungen des herzustellenden Ziegels besitzt, und wird hier einem kräftigen Drucke ausgesetzt. Für den Betrieb dieser Presse pflegt Dampfkraft oder hydraulischer Druck benutzt zu werden, da Handarbeit nicht im Stande ist, den zur Erzielung grosser Festigkeit erforderlichen Druck hervorzubringen. Bei einer von Wood gebauten Maschine für Schlackenziegeln[2]) wird durch zwei in einem oberen Stockwerke mündende Trichter Kalk und Schlacke in regelbarem Strome in eine darunter befindliche Mischvorrichtung mit umlaufenden Messern geführt, in welcher die Masse durchgearbeitet wird, um dann aus einer unten befindlichen Oeffnung nach den Formen hin auszutreten. Von diesen sind sechs in einer drehbaren Tischplatte angeordnet, von welchen jedesmal zwei gleichzeitig gefüllt, zwei gepresst und zwei entleert werden, worauf eine entsprechende Drehung des Tisches erfolgt. Die Formen sind rahmenartig mit eingelegter Bodenplatte gestaltet. Unter die Bodenplatte drückt, sobald die Form an der betreffenden Stelle angelangt ist, ein vermittelst eines Daumens in senkrechter Richtung bewegter Stahlkolben; von oben her ist die Form in dieser Stellung durch einen Deckel geschlossen, welcher an einem mit Gegengewicht belasteten Hebel befestigt ist. Durch stärkere oder geringere Belastung

1) Zeitschr. des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1880, S. 361.

2) Abgebildet im Journal of the Iron and Steel Institute 1877; ferner Kerpely, Fortschritte der Eisenhüttentechnik, Jahrg. XV, Taf. 5. Eine andere Maschine zum Mischen, sowie eine Maschine zum Formen der Ziegel ist in der Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1891, Taf. 10, Fig. 3—5 und Taf. 11, Fig. 1—4 abgebildet.

des Hebels lässt sich der Druck entsprechend der Grösse des Ziegels regeln, und man vermeidet Beschädigungen der Maschine durch übermässigen Druck in dem Falle, dass die Form zu stark gefüllt sein sollte.

In der folgenden Stellung des Tisches werden die gepressten Ziegeln durch einen andern Kolben aus der Form nach oben herausgedrückt und dann abgehoben, um unter einem Bretterdache der Erhärtung unter dem Einflusse der Luft ausgesetzt zu werden. Nach 6—8 Tagen bringt man sie in's Freie, um für neu gefertigte Ziegeln Platz zu machen, und nach 5—6 Wochen sind die Ziegeln steinhart, für den Gebrauch fertig.

Eine Maschine, wie oben beschrieben, mit zwei Stempeln vermag täglich 10000 Stück Ziegeln zu liefern.

Vor den gebrannten Thonziegeln besitzen die nach diesen Verfahren gefertigten Schlackenziegeln mancherlei Vorzüge. Die aus gekörnter (nicht gemahlener) Schlacke hergestellten Ziegeln sind leichter als Thonziegeln bei ungefähr gleicher Festigkeit; die aus gekörnter und gemahlener Schlacke hergestellten sind zwar ebenso schwer als gebrannte Thonziegeln, aber fester. Versuche, in den siebziger Jahren mit verschiedenen Ziegeln angestellt[1]), ergaben als Bruchbelastung auf 1 qcm:

	beim Beginn des Reissens	bei völliger Zerstörung
Osnabrücker Schlackenziegeln aus gekörnter Schlacke	92,4	110,5
Siegener Schlackenziegeln aus gekörnter Schlacke . .	116,2	148,3
Siegener Schlackenziegeln aus gekörnter und zerfallener Schlacke	144,9	186,2
Siegener gebrannte Thonziegeln	58,9	90,9
Dergl. hartgebrannte	84,6	97,8
Dergl. ausgesuchte	95,2	117,2
Osnabrücker gewöhnliche Thonziegeln	67,9	87,9
Dergl. hartgebrannte	89,0	107,3

Neuere Versuche über die Festigkeit der Schlackenziegeln ergaben Bruchbelastungen von 129 bis 155 kg auf 1 qcm.[2]) Dagegen besassen Schlackenziegeln, die mit der Handpresse gefertigt waren, nur eine Festigkeit von 31 kg beim Beginne des Reissens und 32,1 kg bei völliger Zerstörung.

Mit dem Alter der Schlackenziegeln wächst ihre Festigkeit ebenso wie diejenige ähnlicher Körper (Mörtel).

Die Porigkeit und Durchlässigkeit (Permeabilität) der Schlackenziegeln ist nach Versuchen von Prof. Pettenkofer grösser als die der Thonziegeln, welcher Umstand bei ihrer Verwendung für Wohngebäude nicht unwichtig ist. Unter gleichem Drucke liessen trockene Schlackenziegeln die vier- bis fünffache Menge Luft hindurch als Thonziegeln.

Für gewöhnliche Verwendungen pflegt man den gepressten Schlackenziegeln die üblichen Abmessungen der Thonziegeln zu geben. Allzugrosse Steine würden schwieriger eine gleichmässige Pressung erhalten. Ausser den gewöhnlichen Mauerziegeln lassen sich jedoch unter Anwendung entsprechender Formen auch zahlreiche andere Gegenstände, sogenannte Formsteine, fertigen.

1) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure, Band XIX, Seite 186.
2) Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1891, Seite 350.

Setzt man der gemahlenen und mit Kalk vermischten Schlacke noch färbende Körper zu, so lassen sich Nachahmungen natürlich vorkommender Gesteine erzeugen. Die Hochofenschlacken des Eisenwerkes Witkowitz werden zum Theil in dieser Weise verarbeitet. Man fertigt täuschend ähnliche Nachahmungen von Marmor, Diabas und anderen Gesteinen, schleift und polirt die erhärteten Gegenstände und benutzt sie für bauliche und andere Zwecke (Verkleidungen, Grabdenkmäler, Tischplatten und dergl. mehr).

Glasdarstellung.

Bei der Aehnlichkeit, welche die Zusammensetzung mancher für gewöhnliche Zwecke benutzten Gläser, insbesondere des sogenannten Flaschenglases, mit der Zusammensetzung der Hochofenschlacken besitzt, liegt der Gedanke nahe, die letzteren unter Anwendung entsprechender Zusätze für die Glasdarstellung zu verwenden. Die Zusammensetzung des Flaschenglases ist ungefähr folgende:

Kieselsäure	45—60	Hunderttheile
Kalkerde	18—28	„
Magnesia	0— 7	„
Thonerde	6—12	„
Alkali	2— 7	„
Eisenoxydul	2— 6	„

und es bedarf deshalb oft nur geringer, vorwiegend kieselsäurehaltiger, Zusätze zur Hochofenschlacke, um eine gleiche Zusammensetzung zu erzielen; manche Holzkohlenhochofenschlacken stimmen in ihrer Zusammensetzung schon ziemlich genau mit jener überein und erstarren in dünneren Querschnitten thatsächlich mit allen Merkmalen grünlichen Glases. Einige Hochöfen Grossbritanniens sollen für mehrere Glasfabriken das Material liefern, welches aus einer Schlacke mit 38 Hunderttheilen Kieselsäure besteht.[1]) In dem Schmelzherde der Glasfabrik wird die Schlacke mit Alkalien und Sand, färbenden und entfärbenden Materialien, je nach Beschaffenheit des herzustellenden Glases, versetzt.

3. Gichtschwamm.

Der Entstehung dieses, auch zinkischer Anbruch oder Ofenbruch genannten Körpers wurde bereits mehrfach gedacht. Sie beruht auf der Reduction und Verflüchtigung von Zink in dem unteren Theile des Hochofens, welches dann bei seinem Aufsteigen durch den an Kohlensäure und Wasserdampf immer mehr sich anreichernden Gasstrom allmählich wieder oxydirt wird und nun in einer gewissen Entfernung unterhalb der Gicht sich ringsum an den Wänden festsetzt, hier einen Ring bildend, dessen Stärke mehr und mehr zunimmt. Bricht man den Gichtschwamm los, so findet man einen Körper von graugrüner Farbe und schiefrigem Gefüge, dessen Spaltungsflächen parallel den Ofenwänden liegen. Die Analyse zeigt vorwiegend Zinkoxyd; daneben Eisenoxydul, mitunter etwas metallisches Blei und

1) Zeitschr. des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1877, Seite 407.

mechanisch eingemengten Sand. Ebelmen fand in einem Gichtschwamme vom Hochofen zu Treveray: Zinkoxyd 91,6 Hunderttheile, Eisenoxydul 3 Hunderttheile, Bleioxyd 1,6 Hunderttheile, Schwefelblei 1,6 Hunderttheile, metallisches Blei 1,4 Hunderttheile, Sand 0,8 Hunderttheile.[1])

Die Stelle, wo im Hochofen der Gichtschwamm gefunden wird, ist von der Höhe des Ofens und Gichttemperatur abhängig und befindet sich meistens 1—2 m unterhalb der Gicht.

Damit nicht durch den angesetzten Gichtschwamm der Ofenquerschnitt allzu sehr verengt werde, und hauptsächlich auch, damit nicht grössere Mengen des Gichtschwammes sich von selbst ablösen, mit der Beschickung nach unten gehen und nachtheilig auf den Ofengang und die Roheisenbeschaffenheit einwirken (Seite 497), ist es bei Oefen, welche zinkreiche Erze verarbeiten, nothwendig, von Zeit zu Zeit den Gichtschwamm loszubrechen und durch die Gicht aus dem Ofen zu entfernen. Das hierbei angewendete Verfahren wurde schon auf Seite 487 beschrieben.

Der Gichtschwamm wird an die Zinkhütten zur Verarbeitung auf metallisches Zink geliefert. Im Jahre 1891 wurden von 30 im Betriebe befindlichen oberschlesischen Hochöfen 760 t Gichtschwamm geliefert.

4. Blei.

Des Verfahrens, mittels dessen bei Hochöfen, welche bleiische Erze verhütten, das Blei gewonnen werden kann, wurde bereits mehrfach gedacht (Seite 379); auch dass dieses Blei silberhaltig zu sein pflegt, wurde erwähnt. Im Jahre 1891 erfolgte in den Hochöfen Oberschlesiens 1228 t silberhaltiges Blei.

5. Gichtstaub.

An den kälteren Theilen der Gicht, in den Gasleitungsröhren, in den Winderhitzern, in den Zügen der Dampfkesselöfen setzt sich ein weisslicher oder gelblicher, staubförmiger Beschlag ab, welcher aus mechanisch mitgerissenen, theilweise ursprünglich flüchtigen Körperchen besteht. Manche dieser Körperchen waren zweifellos in anderer Form in dem Gasstrome enthalten, als sie in dem abgelagerten Staube gefunden werden, und wurden erst durch Oxydation oder sonstige chemische Einwirkungen umgewandelt. Die Vorrichtungen, welche angewendet werden, um diesen Staub, wenn seine Menge beträchtlich ist, zur Ablagerung zu bringen, haben auf Seite 410 bereits Besprechung gefunden.

Nicht nur die Menge, sondern auch die chemische Zusammensetzung des Gichtstaubes zeigt bei verschiedenen Hochöfen Abweichungen. Regelmässig enthält er Kieselsäure, welche zum Theil aus mitgerissenem Erzstaube stammt, zum anderen Theile aber auch durch Oxydation flüchtiger Siliciumverbindungen entstanden sein kann; fast ebenso

1) Trav. Scient., I, p. 304; Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abth. II, Seite 760.

regelmässig finden sich Alkalien, theils als Cyanide, theils als Chloride, als Sulfate oder als Carbonate, letztere höchstwahrscheinlich durch Zersetzung von Cyaniden entstanden, während Sulfate aus der Umwandlung von Sulfiden hervorgegangen sind; Eisenoxyd, Kalkerde, Magnesia sind ebenfalls regelmässig vorkommende Bestandtheile, und zwar zum grössten Theil einfach mitgerissen [1]); bei Hochöfen aber, welche zinkische Erze verarbeiten, pflegt sich auch in dem Gichtstaube ein beträchtlicher Zinkoxydgehalt und bei bleiischen Erzen ein Bleioxydgehalt vorzufinden.

Beispiele der Zusammensetzung solchen Gichtstaubes oder Gichtrauches sind folgende:

	I	II	III	IV	V
SiO_2 . .	35,88	52,66	24,05	7,45	10,10
CaO . .	16,64	4,12	25,95	3,14	8,20
MgO . .	1,97	Sp.	2,31	2,90	0,79
Fe_2O_3 . .	3,46	23,70	0,91	20,41	29,50
MnO . .	2,40	3,04	0,37	1,34	0,50
Al_2O_3 . .	4,94	2,26	10,09	2,07	10,73
ZnO . .	2,23	—	1,30	26,88	7,45
PbO . .	—	—	—	13,65	n. best.
K_2O, Na_2O	12,84	5,02	26,58	7,96	2,17
SO_3 . . .	20,89	4,01	—	—	0,58
P_2O_5 . .	0,10	—	—	—	1,63
CO_2 . . .	—	n. best.	n. best.	4,36	—
C	—	—	—	7,04	13,74
S	—	—	1,71	0,24	—
Cl . . .	Sp.	Sp.	—	—	—

I. Holzkohlenhochofen zu Rothehütte (Zeitschr. für Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Band IX).

II. Holzkohlenhochofen zu Gröditz, mit Rasenerzen betrieben. Untersuchung vom Verfasser.

III. Kokshochofen zu Mülheim a. d. Ruhr („Stahl und Eisen" 1882, Seite 216).

IV. Kokshochofen zu Gleiwitz in Oberschlesien (Zeitschr. für Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Band XII, Seite 266).

V. Kokshochofen zu Esch, mit Minette betrieben („Stahl und Eisen" 1890, Seite 593).

Lässt man den Staub in längeren Leitungen sich absetzen, so findet man in verschiedener Entfernung vom Hochofen verschiedene Zusammensetzung, wie es den Abweichungen des spezifischen Gewichtes der Bestandtheile entspricht. Bei dem Hochofen der Redenhütte, dessen Vorrichtungen zur Reinigung der Gase von Gichtstaub auf Seite 414 beschrieben wurden, enthielt dieser Gichtstaub

	im 1. Staubsacke	im 2. Staubsacke	im 3. Staubsacke	im 4. Staubsacke	im 5. Staubsacke	in den Kanälen
SiO_2	22,56	14,17	10,66	10,41	7,49	10,28
Zn	19,44	25,92	30,45	32,00	35,32	42,40
Pb	8,50	7,92	7,18	6,89	7,24	6,13
Fe	14,17	12,45	7,45	6,72	3,99	n. best.

Reinigt man die Gase, indem man sie durch Wasser hindurchleitet, so werden die löslichen Salze von diesem aufgenommen und

1) Eisenoxyd kann auch durch Umwandlung verflüchtigten Eisenchlorides entstanden sein.

lassen sich beim Eindampfen gewinnen. Die im Laboratorium des Verfassers angestellte Untersuchung eines solchen Eindampfrückstandes vom Hörder Hochofen ergab:

Rhodanammon	0,69	Hunderttheile
Chlornatrium	13,02	„
Chlorkalium	19,26	„
Chlormagnesium	10,95	„
Chlorammonium	6,59	„
Eisenchlorid	0,54	„
Manganchlorür	0,10	„
Calciumsulfat	5,27	„
Kaliumsulfat	31,14	„
Kieselsäure	0,64	„
Eisenoxyd	1,47	„
Wasser	9,92	„
	99,59	Hunderttheile.

Sofern der Gichtstaub reich genug an Zink oder Blei ist, um eine Verarbeitung auf diese Metalle lohnend erscheinen zu lassen, wird er gesammelt und an die Zink- oder Bleihütten geliefert. Die im Betriebe gewesenen 30 oberschlesischen Hochöfen lieferten im Jahre 1891 8450 t Zinkstaub ab, ein Ofen also durchschnittlich 282 t. Enthält der Gichtstaub lösliche benutzungsfähige Bestandtheile, z. B. Kaliumsulfat, in grösserer Menge, so wird er mitunter auf diese verarbeitet; in anderen Fällen fährt man ihn als werthlos auf die Halde.

6. Zufällige Nebenerzeugnisse.

Solche zufällige Nebenerzeugnisse, welche zwar eine wirthschaftliche Bedeutung nicht besitzen, wohl aber manche beachtenswerthe Streiflichter auf die Eigenthümlichkeiten des Hochofenschmelzens zu werfen im Stande sind, finden sich ziemlich häufig. Besonders reich daran pflegt der nach dem Ausblasen des Hochofens im Herde zurückbleibende Eisenklumpen, Ofensau genannt, zu sein. Schon das Eisen dieser Sau an und für sich zeigt infolge der sehr langsamen Abkühlung, welcher es unterworfen war, manches Bemerkenswerthe. Gewöhnlich ist es kohlenstoffarm, schmiedeeisenartig, mit grobblättrigem Gefüge. An anderen Stellen, besonders da, wo ein kohlenstoffreicheres Eisen mit kieselsäurereichen Theilen der Gestellwände in Berührung war und sehr langsam erstarrte, finden sich mitunter Stücke, deren Gefüge an das des Spiegeleisens erinnert, die jedoch mit Graphit bedeckt sind und deren Analyse einen nur geringen Kohlenstoffgehalt (1 $1/2$—2 $1/2$ Hunderttheile) bei hohem Siliciumgehalt (3—4 Hunderttheile) erkennen lässt. Diese Ofensau enthält auch jene auf Seite 308 erwähnten rothen Würfel von Cyan-Stickstofftitan, die man in alter Zeit für metallisches Kupfer, später für metallisches Titan hielt, bis Wöhler ihre Zusammensetzung ermittelte. Sie lassen sich von dem Eisen, welches von ihnen durchwachsen ist, trennen und in oft ziemlich grosser Menge sammeln, wenn man das Eisen in Salzsäure auflöst.

Mitunter findet sich an einzelnen Stellen des ausgeblasenen Hochofens haarförmig oder nadelförmig krystallisirte Kieselsäure, vermuthlich durch Zersetzung von Siliciumsulfid (Seite 287) entstanden. Häufig

sind auch zinkische Verbindungen mit Kieselsäure, in Nadeln krystallisirt, theils zwischen den Fugen der Gestellwände, theils als Ueberzug derselben, theils in der Ofensau auftretend; oder hexagonal krystallisirtes Zinkoxyd (Rothzinkerz).

Zu den zufälligen Nebenerzeugnissen des Hochofenbetriebes kann auch Cyankalium gerechnet werden, welches zwar regelmässig in den Oefen gebildet wird und beim Aufsteigen mit dem Gasstrome zum grossen Theile wieder zerfällt, mitunter aber auch an absonderlichen Stellen des Ofens sich sammelt. In einer vermauerten Formöffnung des Hörder Hochofens fand sich ein weisses Salz, welches nach meiner Untersuchung 34 Hunderttheile Kaliumcarbonat, höchstwahrscheinlich aus der Zersetzung von Cyankalium hervorgegangen, 9 Hunderttheile Chlorkalium, 27 Hunderttheile Zinkoxyd, übrigens Eisen, Mangan, Kalkerde u. a. m. enthielt. Bei dem Holzkohlenhochofen zu Mariazell sammelte sich in den vierziger Jahren Cyankalium in solcher Menge an der Aussenseite einer in der Brust angebrachten Oeffnung — eines sogenannten Lichtloches, aus welchem man während der Nacht eine Flamme zur Beleuchtung der Hütte austreten liess —, dass es gesammelt und zu galvanischen Arbeiten verwendet werden konnte.[1] Auch in den Gasleitungsröhren dieses Hochofens wurde Cyankalium in reichlicher Menge gefunden.

Literatur.

a) Grössere Werke.

Percy-Wedding, Handbuch der Eisenhüttenkunde, Abth. II, S. 741 (Schlacken), 756 (Nebenerzeugnisse).

C. Stöckmann, Die Gase des Hochofens und der Siemens-Generatoren. Ruhrort 1876.

L. Roth, Der Bauxit und seine Verwendung zur Herstellung von Cement aus Hochofenschlacke. Wetzlar 1882.

b) Abhandlungen.

F. Lürmann, Ueber Hochofenschlacken und deren Verwendung. Zeitschr. des Architekten- und Ingenieur-Vereins für Hannover, Bd. XIII, S. 297; Zeitschr. des Ver. deutsch. Ingenieure, Bd. XII, S. 32.

F. Lürmann, Ueber die Fortschritte der Schlackenfabrikation in Osnabrück und über andere Schlackenpräparate. Zeitschr. des Ver. deutsch. Ingenieure, Bd. XIX (1875), S. 185; polyt. Centralbl. 1875, S. 695.

E. Paschen, Ueber Ausnutzung der Hochofenschlacken durch Granulation. Zeitschr. des Ver. deutsch. Ingenieure, Bd. XVIII (1874), S. 321.

Schmidhammer, Vorrichtung zur Granulation der Hochofenschlacken mittelst Wasserstromes. Rittinger, Erfahrungen 1868, S. 19; Berg- und hüttenm. Ztg. 1870, S. 59.

Ch. Wood, The utilization of slag. The Journal of the Iron and Steel Institute 1873, p. 186.

Ch. Wood, On the progress of the slag industries during the last four years. The Journal of the Iron and Steel Institute 1877, II, p. 443; Dinglers polyt. Journal, Bd. CCXXX, S. 440.

1) Annalen der Chemie und Pharmacie, Band XLVII (1843), Seite 150; Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abtheilung II, Seite 261.

P. Tunner, Der Fortschritt der Schlackenindustrie während der letzten vier Jahre. Zeitschr. des berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1877, S. 404.

Ueber Verwendungsarten der Schlacken in Grossbritannien. Zeitschr. des berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1880, S. 353.

L. Tetmajer, Der Schlackencement. Notizblatt des Ziegler- und Kalkbrenner-Vereins 1887, Nr. 2.

A. Prost, Note sur la fabrication et les propriétés des ciments de laitiers. Annales des mines, série 8, tome XVI, p. 158; auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1890, S. 523.

Zur Kenntniss des Schlackencementes. Thonindustrie-Zeitung 1892, Nr. 2.

Ueber Hochofenschlacken und deren Verwendung. Dinglers polyt. Journal, Bd. CCLXXIX, S. 22.

M. Paulovich, Ueber die Verwerthung der Hochofenschlacken für Bauzwecke. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1891, S. 333.

Chr. Meinecke, Chlorverbindungen im Hochofen. Berg- und hüttenm. Ztg. 1875, S. 47.

G. Williger, Bleigewinnung im Hochofen. Berg- und hüttenm. Ztg. 1882, S. 81.

VII. Das Umschmelzen und die Reinigung des Roheisens.

I. Das Umschmelzen.

A. Allgemeines.

Nur in weniger zahlreichen Fällen schliesst sich die weitere Verarbeitung des Roheisens, sie möge nun die Darstellung von Gebrauchsgegenständen durch Giessen des flüssigen Roheisens in Formen bezwecken (Eisengiesserei) oder eine Umwandlung des Roheisens in schmiedbares Eisen durch irgend eins der in der dritten Abtheilung dieses Buches beschriebenen Frischverfahren bewirken, unmittelbar an dessen Darstellung im Hochofen an. Obgleich diese weitere Verarbeitung fast ausnahmslos im flüssigen Zustande des Roheisens geschieht, und man demnach bei unmittelbarer Aufeinanderfolge der Darstellung und Verarbeitung die Kosten für die abermalige Verflüssigung — das Umschmelzen — des Roheisens ersparen würde, entspricht doch weder die Menge des bei einem vorhandenen Hochofenbetriebe erfolgenden Roheisens noch seine Zusammensetzung (welche nach Früherem auch bei einem und demselben Hochofen einem öfteren unbeabsichtigten Wechsel unterworfen ist) immer genau den Ansprüchen, welche das Verarbeitungsverfahren stellt. Häufig mischt man mehrere Roheisensorten, um sie gemeinschaftlich zu schmelzen und hierdurch ein Material zu erlangen, welches besser als die einzelne Sorte den Eigenthümlichkeiten des betreffenden Verfahrens entspricht; häufig auch würden örtliche Verhältnisse es nicht einmal gestatten, die Anlagen für die Darstellung und für die Verarbeitung des Roheisens einander so nahe

zu bringen, dass jene unmittelbare Aufeinanderfolge beider Verfahren überhaupt stattfinden kann.

Es sind also Schmelzöfen erforderlich, in welchen die abermalige Verflüssigung des Roheisens bewirkt wird. Wo eine Umwandlung des Roheisens in schmiedbares Eisen der Zweck der Verarbeitung ist, benutzt man mitunter den nämlichen Ofen, in welchem diese Arbeit vorgenommen wird, auch zum vorausgehenden Schmelzen des Roheisens; die Einrichtung dieser Oefen wird demgemäss in Abtheilung III Besprechung finden. In anderen Fällen dagegen bedient man sich für das Umschmelzen des Roheisens besonderer Oefen, deren einziger Zweck eben dieses Umschmelzen ist; das Roheisen geht wiederum als solches aus dem Ofen hervor, um dann erst weiter verarbeitet zu werden, sei es durch Eingiessen in Formen zu Eisengusswaaren, sei es durch ein Frischverfahren in einem besonderen Ofen zu schmiedbarem Eisen.

Auch bei diesem Umschmelzen lässt sich jedoch eine chemische Beeinflussung des Roheisens nicht ganz vermeiden. Häufig findet eine Oxydationswirkung unter der Einwirkung der Verbrennungsgase auf das schmelzende Metall statt, und die Folge davon ist, dass einzelne Körper, z. B. Mangan oder Silicium, ausgeschieden werden, oder dass ihre Menge geringer wird; aber auch eine Aufnahme von Fremdkörpern (Kohlenstoff, Schwefel, Silicium) kann unter gewissen Verhältnissen stattfinden, sofern die Berührung des Roheisens mit den Brennstoffen oder auch mit den Ofenwänden Gelegenheit dazu giebt. Von den Eigenthümlichkeiten des angewendeten Schmelzverfahrens sind diese eintretenden Aenderungen abhängig; bei der Auswahl des zum Verschmelzen bestimmten Roheisens aber müssen sie Berücksichtigung finden, damit das Schmelzerzeugniss den gestellten Anforderungen entspreche.

B. Das Schmelzen in Tiegeln.

Das Verfahren ist das älteste zum Umschmelzen des Roheisens [1]) und findet jetzt noch in solchen Fällen Benutzung, wo entweder nur sehr kleine Mengen Roheisen in einem Male geschmolzen oder wo chemische Beeinflussungen des Roheisens durch die Berührung mit den Brennstoffen oder Verbrennungsgasen nach Möglichkeit fern gehalten werden sollen. Es ist aber wegen des Verbrauches der Tiegel und der ungünstigen Ausnutzung des Brennstoffs kostspielig; wo also jene besonderen Gründe für seine Beibehaltung nicht vorliegen, zieht man die später zu besprechenden Verfahren für das Umschmelzen des Roheisens vor.

a) Die Tiegelöfen.

Die einfachste und zum Roheisenschmelzen auch am häufigsten angewendete Form eines Tiegelofens ist ein niedriger Schacht, unten

1) Zum Schmelzen von Gold, Silber, Bronze war das Tiegelschmelzen schon bei den Kulturvölkern des Alterthumes in Gebrauch. In einem durch Gebläse angefachten Holzkohlenfeuer wurden die Tiegel erhitzt. Eine Abbildung eines Tiegelschmelzfeuers im alten Theben enthält u. a. Beck, Geschichte des Eisens, Band I, Seite 75.

durch einen Rost abgeschlossen, auf dem die Tiegel stehen, um durch die ringsherum eingeschütteten Kohlen (Koks) erhitzt zu werden. Man hat Oefen für einen und für mehrere Tiegel; da aber die Schwierigkeit, eine gleichmässige Erhitzung mehrerer Tiegel zu erreichen, mit ihrer Anzahl wächst, geht man selten über vier bis fünf, niemals über

Fig. 163.

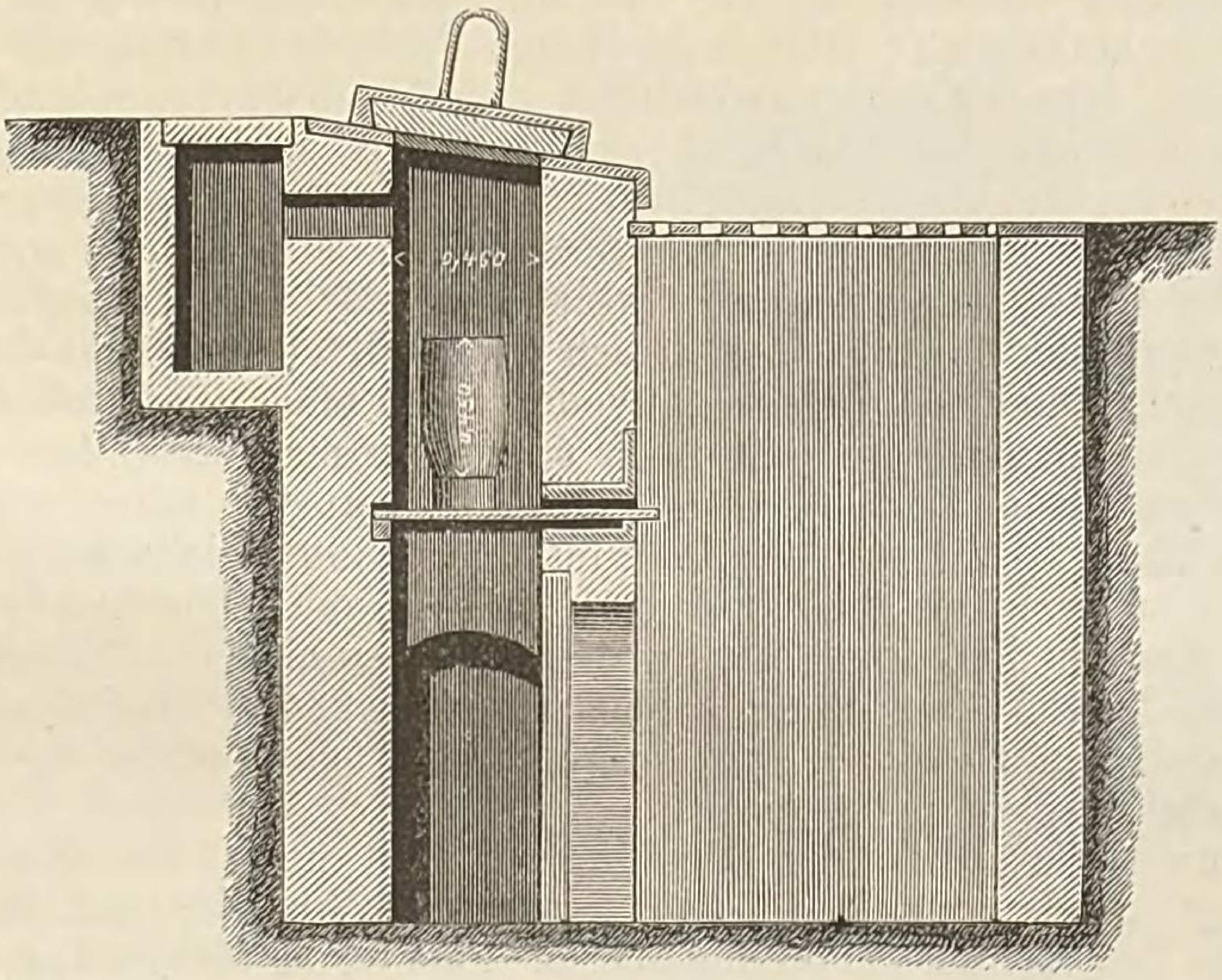
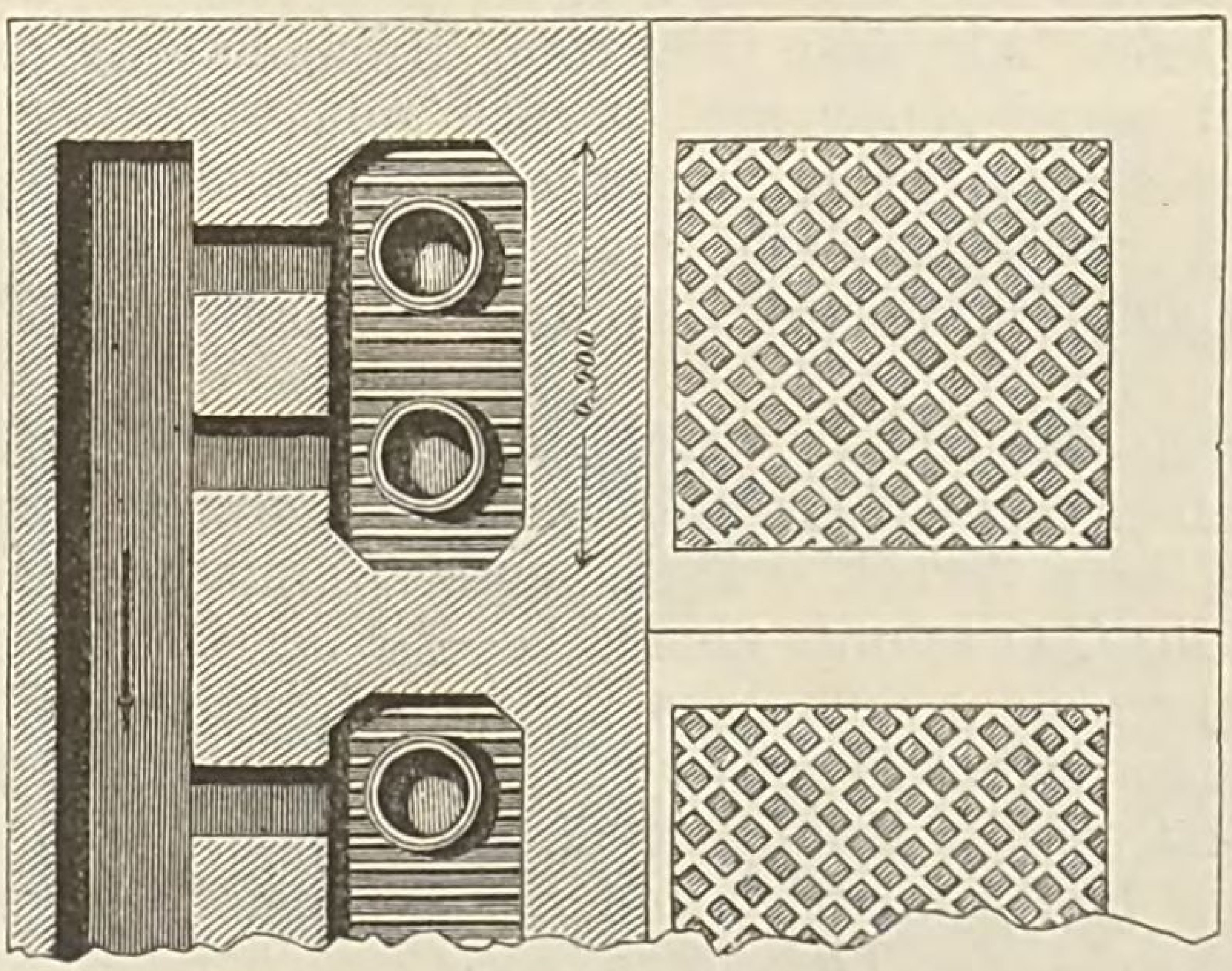


Fig. 164.



neun Tiegel hinaus. Der Querschnitt durch den Schacht ist kreisförmig, quadratisch oder rechteckig.

Einen Tiegelschachtofen für zwei Tiegel zeigen die Abbildungen Fig. 163 und 164.

Da die Temperatur unmittelbar über dem Roste, wo die kalte Luft eintritt, verhältnissmässig niedrig ist, würde der Fuss des Tiegels, wenn

man ihn unmittelbar auf den Rost stellen wollte, kalt bleiben. Man giebt deshalb jedem Tiegel einen Untersatz aus feuerfestem Thon, mitunter Käse genannt, dessen Höhe 7—10 cm betragen kann. Die Höhe des Tiegelofens pflegt annähernd doppelt so gross zu sein als die Höhe der Tiegel; die Weite wird derartig bemessen, dass zwischen Tiegel und Ofenwand ein Raum von mindestens 60 mm bleibt. Der bequemeren Bedienung halber pflegt man die Oefen, wie die Abbildung zeigt, vertieft in den Boden einzubauen, so dass nur die Gichtöffnung um einige Centimeter herausragt. Damit in diesem Falle der Luftzug nicht leide, muss neben dem Ofen ein ausreichend weiter Schacht angebracht sein, von welchem aus der Aschenfall zugänglich ist und welcher zugleich die Bedienung des Rostes ermöglicht. Um Unglücksfälle durch Hineinfallen von Personen zu verhüten, deckt man den Schacht mit durchbrochenen Gusseisenplatten ab, welche sich leicht entfernen lassen.

Oberhalb der Tiegel befindet sich in der Rückwand des Ofens der Fuchskanal, welcher die Gase entweder nach einer unmittelbar hinter dem Ofen stehenden Esse oder nach einem für mehrere Oefen gemeinschaftlichen Essenkanale — wie in der Abbildung — führt. Bei Oefen mit länglichem Grundrisse vertheilt man, um eine gleichmässigere Verbrennung zu erzielen, die Gase gern in zwei oder noch mehr Fuchskanäle, wie bei dem abgebildeten Ofen, so dass hinter je einem Tiegel oder einer Tiegelreihe sich ein solcher Fuchs befindet. Der Querschnitt der sämmtlichen zu einem Ofen gehörenden Füchse pflegt $^1/_8$—$^1/_4$ des Ofenquerschnitts zu betragen.

Damit nicht durch die Gichtöffnung Luft nach dem Fuchse hin angesaugt werde, hierdurch den Essenzug schwäche und eine Verbrennung der Kohlen schon im oberen Theile des Ofens herbeiführe, deckt man jene Oeffnung durch einen Deckel ab, welcher aus einem Gusseisenrahmen mit eingesetzten feuerfesten Steinen zu bestehen pflegt. Bei kleineren Oefen hebt man ihn, wenn Brennmaterial nachgeschüttet oder der Tiegel herausgenommen werden soll, vermittelst einer Handhabe ab; bei grösseren Oefen richtet man ihn zum Aufklappen ein und befestigt an der vorderen Seite eine über eine Rolle geführte Kette mit Gegengewicht, durch welches das Gewicht der Klappe ausgeglichen wird.

Bei der geringen Höhe, welche die Tiegelöfen besitzen, genügt die Wirkung einer Esse, den erforderlichen Luftzug hervorzubringen; aber damit sie ihren Zweck erfülle, muss sie mindestens 10 m, besser 15 m hoch und ihr Querschnitt gleich $^1/_6$—$^1/_3$ des Ofenquerschnitts sein. Durch Anbringung eines Schiebers lässt sich eine zu kräftige Wirkung der Esse abmindern; bei zu schwachem Essenzuge geht das Schmelzen langsam von statten, die Kohlenoxydbildung wird vermehrt, die Temperatur im Ofen bleibt niedrig, und der Brennstoffverbrauch ist hoch.

Bei den feststehenden Tiegelöfen, wie sie soeben besprochen wurden, muss der Tiegel, nachdem das Metall geschmolzen und die Brennstoffschicht entsprechend weit gesunken ist, mit Hülfe einer Zange aus der Gicht des Ofens herausgehoben werden, um alsdann nach dem Orte seiner Bestimmung getragen und hier entleert zu werden. Diese Arbeit ist nicht allein umständlich, sondern sie bewirkt auch eine rasche Abnutzung der Tiegel theils durch die Einwirkung der Zange, theils

durch die rasche Abkühlung nach dem Ausgiessen. Zweckmässig in solchen Fällen, wo nur ein einziger Tiegel in den Ofen eingesetzt wird, ist deshalb ein von dem Franzosen Piat erfundener tragbarer Tiegelofen, in welchem der Tiegel feststeht und aus welchem die Entleerung bewirkt wird, ohne dass der Tiegel herausgenommen wird. Fig. 165 zeigt die Einrichtung eines solchen Ofens im Innern, Fig. 166 die Handhabung beim Giessen. Der Ofen ist mit einem Eisenblechmantel eingefasst, und an diesem ist ein starkes, ringsherum laufendes Schmiedeeisenband befestigt, welches zwei einander gegenüberstehende starke Zapfen trägt. An diesen Zapfen hängt der Ofen, wie Fig. 165 erkennen lässt, während des Schmelzens in gusseisernen Lagerböcken, sofern man nicht vorzieht, ihn auf einen gemauerten Untersatz zu stellen; beim Tragen und Ausgiessen aber dienen die Zapfen, deren Enden zu diesem Zwecke vierkantig ausgeschmiedet sind, zum Aufstecken von

Fig. 165.

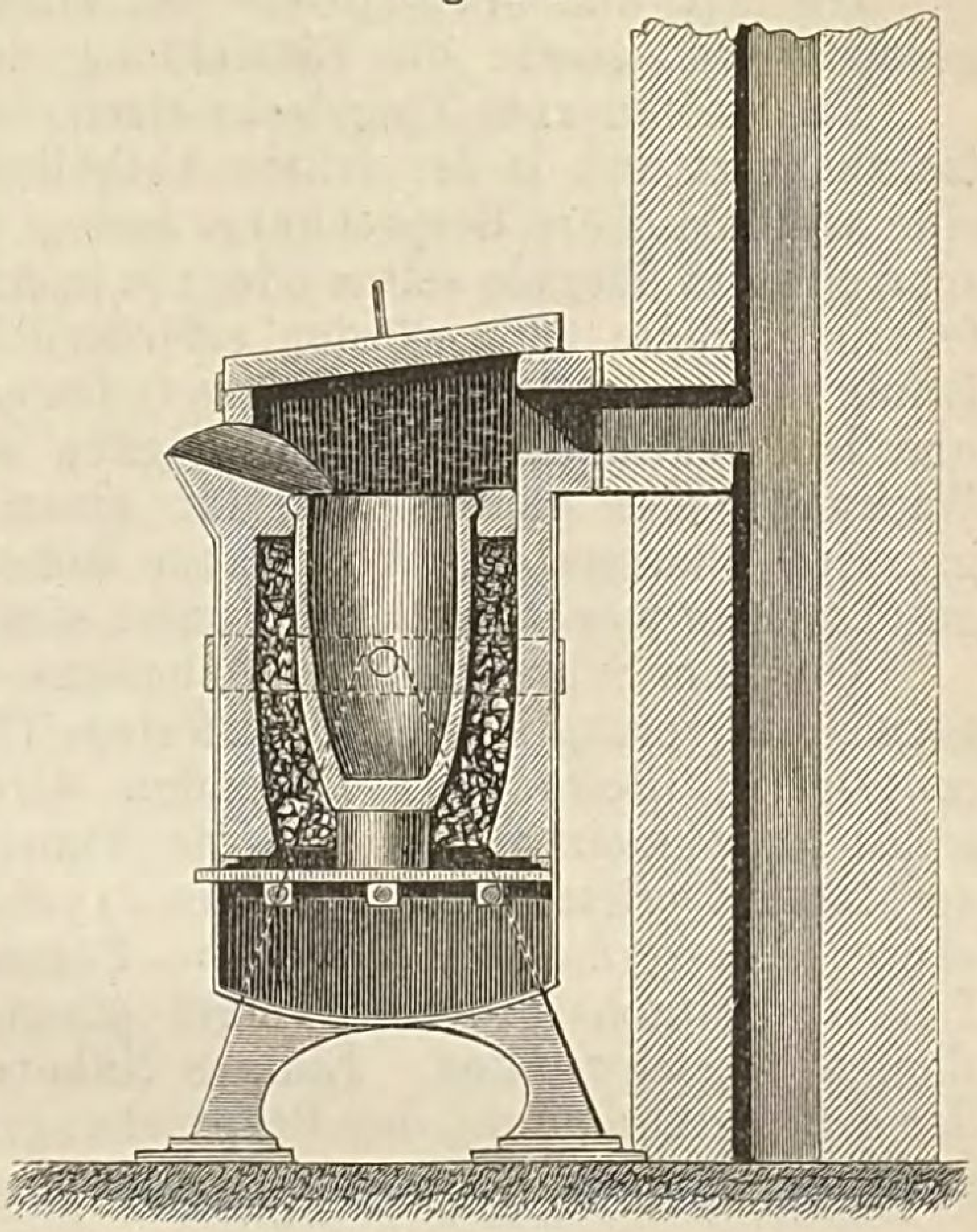
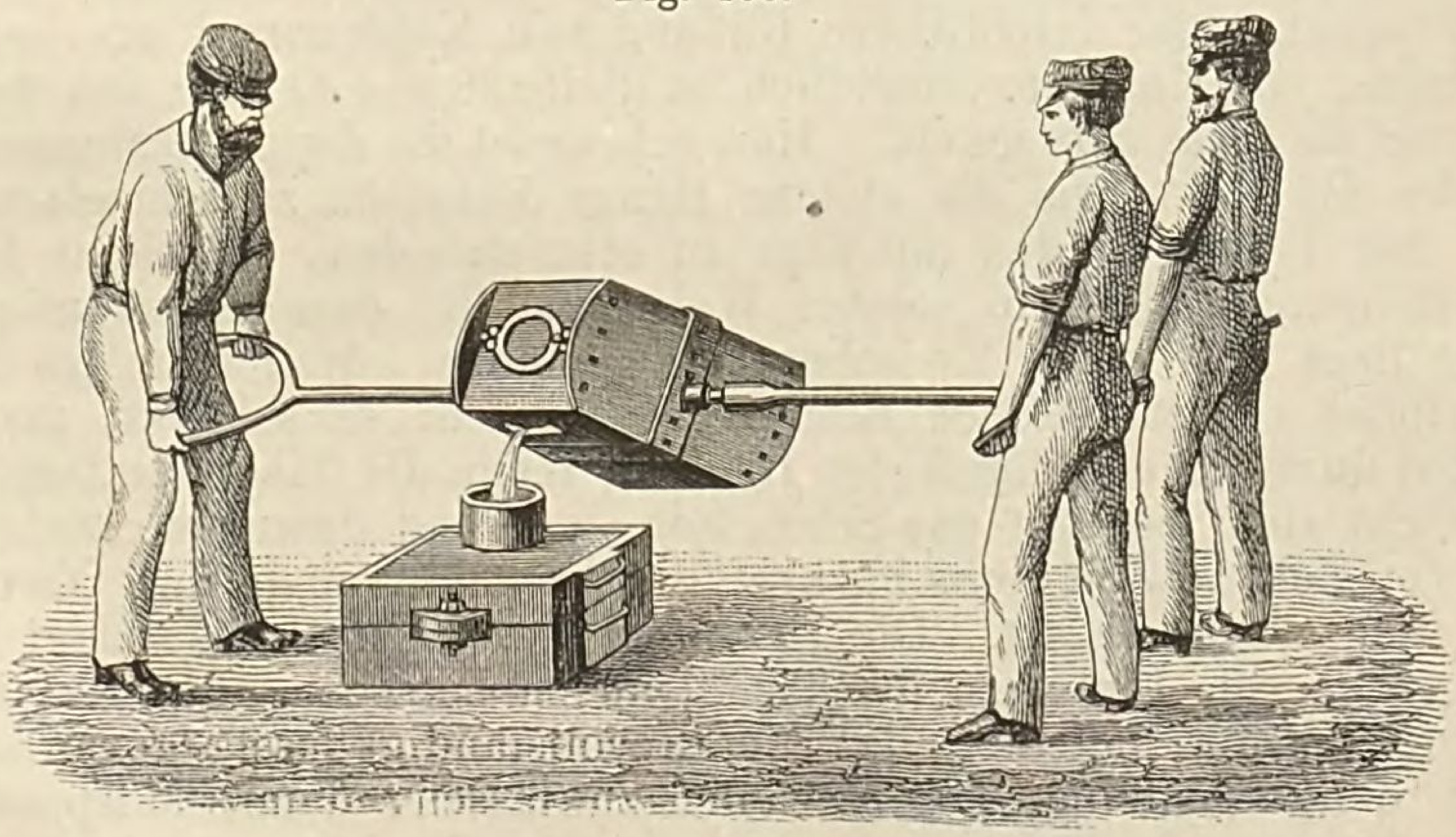


Fig. 166.



Handhaben, deren Einrichtung ganz die nämliche ist wie der in Eisengiessereien zum Tragen und Entleeren von grösseren Giesspfannen benutzten (Fig. 166). Ist das Gewicht des Ofens sammt Inhalt zu schwer, um durch menschliche Kraft bewegt zu werden, so hängt man den

Ofen mit den erwähnten Zapfen in den Bügel eines Krahnes, bringt ihn mit dessen Hülfe an den Ort seiner Bestimmung und entleert ihn, während er im Krahne hängt, vermittelst der erwähnten Handhaben.

Die Art und Weise, wie der Ofen mit der Esse in Verbindung gesetzt wird, sowie die Einrichtung des Ausgusses zeigt Fig. 165.[1])

Flammöfen zum Tiegelschmelzen, welche für Stahlschmelzen vielfach benutzt und in der dritten Abtheilung der Eisenhüttenkunde daher eine ausführlichere Besprechung finden werden, sind für das Roheisenschmelzen in Tiegeln selten oder nie in Anwendung. Oefen mit Siemensfeuerung (Seite 136) würden erforderlich sein, um auf befriedigenden Erfolg rechnen zu können. Diese Oefen erheischen beträchtliche Anlage- und Unterhaltungskosten und eignen sich ihrer früher geschilderten Wirkungsweise gemäss nur für einen ununterbrochenen Betrieb in grossem Maassstabe. Wenn aber Roheisen in beträchtlichen Mengen geschmolzen werden soll, pflegt man sich nicht des Tiegels zu bedienen.

Die zum Schmelzen des Roheisens benutzten Tiegel sind Graphittiegel, aus vorzüglichstem feuerfestem Thon mit zugesetztem, als Magerungsmittel (Seite 164) dienendem Graphit gefertigt. Der Graphit, selbst unschmelzbar, erhöht die Feuerbeständigkeit der Tiegel und verhindert zugleich das Eindringen oxydirender Gase (Sauerstoff, Kohlensäure, Wasserdampf) durch die Poren des weissglühenden Tiegels. Der Graphitgehalt dieser Tiegel pflegt zwischen 20 bis 70 Hunderttheilen zu schwanken. Einiges Nähere über ihre Anfertigung ist in der dritten Abtheilung bei Besprechung des Tiegelstahlschmelzens mitgetheilt.

b) Das Schmelzen und die Betriebsergebnisse.

In den beschriebenen Tiegelschachtöfen benutzt man Koks als Brennstoff. Holzkohlen würden, selbst wenn sie ebenso billig als Koks zu beschaffen wären, doch weniger gut tauglich sein, da bei ihrer Verbrennung eine reichlichere Bildung von Kohlenoxyd als bei Verbrennung von Koks unvermeidlich ist (Seite 38 und 41), sie also weniger Wärme als diese entwickeln. Man gebraucht die doppelte Menge Holzkohlen als Koks, um die gleiche Menge Roheisen zu schmelzen.

Die Tiegel werden mit dem zu schmelzenden, in kleine Stücke zerschlagenen Eisen in solcher Weise gefüllt, dass dieses möglichst dicht liegt und wenig Zwischenräume bleiben. Will man das Metall thunlichst vor chemischen Einflüssen schützen, so schliesst man den Tiegel durch einen aufgelegten Deckel. Wenn die Tiegel an ihre Stelle gebracht sind, beginnt das Schmelzen, während dessen der Schmelzer nur von Zeit zu Zeit Koks nachzufüllen braucht, sobald ihre Oberfläche im Ofen gesunken ist. Die Zeitdauer des Schmelzens pflegt 2 bis 3 Stunden vom Einsetzen der Tiegel an zu betragen. Erforderlich ist es, den Tiegel, nachdem das Metall vollständig flüssig geworden ist, noch einige Zeit im Ofen verweilen zu lassen, damit entsprechende Ueberhitzung eintrete, ohne welche das Metall nicht gut giessbar sein würde. Alsdann wird der Tiegel mit einer Zange herausgehoben (falls nicht Piat-Oefen benutzt wurden) und entleert.

1) Ueber einige etwas abweichende Formen des Piat-Ofens sind in „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 189 durch C. Steffen Mittheilungen gemacht.

Da das eingesetzte Roheisen anhaftende Sandkörnchen zu enthalten pflegt, welche mit dem Eisen gewogen waren, auch Verluste beim Giessen nicht ganz zu vermeiden sind, beträgt das Gewicht des wiedererfolgenden Roheisens nur ungefähr 98 Hunderttheile vom Gewichte des Einsatzes; 2 Hunderttheile sind Verlust. Der Brennstoffverbrauch zum Schmelzen von 1000 kg Roheisen beträgt durchschnittlich 1000 kg Koks; er ist grösser, wenn der Einsatz nur gering ist, man lockere, leicht verbrennliche Koks benutzte und der Ofen vorher kalt war, und er kann unter günstigen Umständen auch wohl auf 750 kg sinken.

c) Der chemische Verlauf des Tiegelschmelzens.

Obschon beim Schmelzen im bedeckten Tiegel eine Berührung des Metalls mit dem Brennstoffe oder den Verbrennungsgasen fast vollständig ausgeschlossen ist, machen sich doch chemische Einflüsse geltend, welche Beachtung verdienen.

In dem Tiegel ist eine gewisse Menge Luft eingeschlossen; die eingesetzten Roheisenstücke aber pflegen an ihrer Oberfläche theils Rost, theils Eisenoxyduloxyd als dünnen Ueberzug zu enthalten, welches bei dem Erstarren des Roheisens unter der Berührung mit der Luft sich gebildet hatte. Die eingeschlossene Luft sowohl als jene Eisenoxyde rufen beim Einschmelzen eine, wenn auch nicht erhebliche, Oxydation hervor. Schmelzt man mangan- und siliciumarmes Roheisen, so wird der Kohlenstoffgehalt hierdurch verringert; ist Mangan in grösseren Mengen zugegen, so schützt dieses den Kohlenstoffgehalt vor dem Verbrennen, da seine Neigung, zu Manganoxydul zu verbrennen, durch die Berührung mit den kieselsäurereichen Wänden der Tiegel gesteigert ist (Seite 36); auch Silicium kann zunächst in geringen Mengen verbrannt werden, wenn der Einsatz arm an Mangan und Kohlenstoff ist. Diese Verbrennung pflegt, wenn das Metall vollständig flüssig geworden ist, ihr Ende erreicht zu haben; der zuvor anwesende freie Sauerstoff ist verbraucht, die Eisenoxyde sind zerstört. Jetzt beginnt nun beim längeren Verweilen des Tiegels im Ofen die schon erwähnte Ueberhitzung [1]) und mit dieser ein neuer chemischer Vorgang. Der Kohlenstoffgehalt des Roheisens und auch der Mangangehalt, falls ein solcher zugegen ist, wirken reducirend auf den Kieselsäuregehalt der Tiegelwände; Silicium wird vom Roheisen aufgenommen, Kohlenstoff und Mangan treten aus. Je höher die Temperatur und je weniger reichlich der schon anwesende Siliciumgehalt ist, desto deutlicher macht sich dieser Vorgang bemerkbar. Auch die Beschaffenheit der Tiegel spielt hierbei eine Rolle; ihr Kieselsäuregehalt und die Form, in welcher die Kieselsäure anwesend ist, beeinflusst den Verlauf der Siliciumreduction. Durch den Graphitgehalt der Tiegel ist dem Eisen Gelegenheit gegeben, für den zur Reduction des Siliciums verbrauchten Kohlenstoff Deckung zu erhalten, unter Umständen, wenn es kohlenstoffarm war, seinen Kohlenstoffgehalt noch mehr als zuvor anzureichern.

1) So lange noch ungeschmolzenes Metall sich im Tiegel befindet, kann das geschmolzene nicht überhitzt werden, da der zugeführte Wärmeüberschuss zum Schmelzen des ersteren verbraucht wird. Man vergegenwärtige sich den Vorgang beim Schmelzen von Eis in Wasser.

Je graphitreicher die Tiegel sind, desto leichter kann das Eisen diesem Bestreben Folge geben.

Das im Tiegel umgeschmolzene und beim Umschmelzen entsprechend überhitzte Roheisen pflegt daher siliciumreicher und manganärmer als zuvor geworden zu sein; ein hoher Mangangehalt befördert erheblich die Reduction des Siliciums. Der Kohlenstoffgehalt kann, wenn er zuvor schon hoch war und die Tiegel nicht sehr graphitreich waren, eine Abminderung erfahren haben; häufiger wird eine, wenn auch nicht beträchtliche, Zunahme bemerkbar sein.

Bei dreimaligem Umschmelzen weissen Roheisens in Tiegeln, welche aus 3 Theilen Graphit und 3¼ Theilen Thon gefertigt waren, fand Müller[1]) folgende Aenderungen der chemischen Zusammensetzung:

	Kohlenstoff	Silicium	Mangan
Vor dem Umschmelzen	3,59	0,07	2,04
Nach einmaligem Umschmelzen	3,71	0,57	1,91
„ zweimaligem „	3,77	0,76	1,85
„ dreimaligem „	3,63	1,07	1,86

Das weisse Roheisen zeigte nach jedem wiederholten Umschmelzen stärkere Graphitausscheidung, eine Folge der stattgehabten Zunahme des Siliciumgehaltes; bei einem vierten Umschmelzen, dessen Erzeugniss jedoch nicht untersucht wurde, war dieses vollständig graues Roheisen geworden.

Boussingault[2]) schmolz ebenfalls weisses Roheisen und erhielt nachstehende Zusammensetzung:

	Kohlenstoff	Silicium	Mangan	Phosphor	Schwefel
Vor dem Umschmelzen	3,80	0,42	2,58	0,07	0,10
Nach „ „	3,44	0,66	1,75	0,08	0,02

Hier zeigt der Kohlenstoffgehalt eine ziemlich bedeutende Abnahme beim Schmelzen; vermuthen lässt sich, dass das Schmelzen in graphitarmen Tiegeln ausgeführt wurde. Beachtenswerth ist auch die Abnahme des Schwefelgehaltes, welche dem auf Seite 292 und 293 besprochenen Einflusse des Kohlenstoffgehaltes auf den Schwefelgehalt entspricht.

Jene bei der Ueberhitzung des im Tiegel geschmolzenen Roheisens stets eintretende Anreicherung des Siliciumgehaltes beeinflusst das Verhalten des Roheisens bei den üblichen Verwendungen[3]) gewöhnlich günstig, sofern es nicht schon ein Uebermaass von Silicium enthielt, und in jedem Falle kann man durch Einsetzen eines entsprechend siliciumärmeren Roheisens jener immerhin nicht sehr beträchtlichen Zunahme Rechnung tragen.

C. Das Schmelzen in Flammöfen.

a) Geschichtliches.

Die Benutzung von Flammöfen zum Roheisenschmelzen kam um die Mitte des vorigen Jahrhunderts in Grossbritannien auf. Die An-

1) „Stahl und Eisen“ 1885, Seite 181.

2) Annales de chimie et de physique, série 5, tome V. p. 236.

3) Am häufigsten findet das im Tiegel geschmolzene Roheisen für die in der dritten Abtheilung der Eisenhüttenkunde besprochene Darstellung schmiedbaren Gusses Verwendung. Näheres über die hierfür erforderliche Zusammensetzung ist in dem betreffenden Abschnitte mitgetheilt.

regung dazu gab der Umstand, dass der Herd der einzelnen Hochöfen, welche den Eisengiessereien das geschmolzene Metall lieferten, nicht immer ausreichend gross war, um alles für die Herstellung eines schweren Gussstückes erforderliche Metall zu fassen; man sah sich gezwungen, neben dem Hochofen einen besonderen Schmelzofen einzurichten, welcher sich rasch in und ausser Betrieb setzen liess und befähigt war, grössere Mengen mit einem Male zu schmelzen und zu sammeln. Zunächst versuchte man, in eben solchen Oefen zu schmelzen, welche bereits seit Jahrhunderten zum Bronzeschmelzen benutzt worden waren und keine Esse besassen (Seite 129), erkannte aber bald, dass diese Oefen nicht geeignet seien, Roheisen zu schmelzen und zu überhitzen; so gab man ihnen die Esse zur Erzeugung des lebhafteren Luftzuges und erhielt nunmehr gute Ergebnisse. 1765 waren in Cumberland bereits Flammöfen zum Roheisenschmelzen in Anwendung, deren Einrichtung der jetzt üblichen ziemlich genau entspricht.[1])

In der Jetztzeit ist die Verwendung der Flammöfen zum Roheisenschmelzen nicht mehr häufig. In Eisengiessereien bedient man sich ihrer bisweilen, wenn grosse Mengen Roheisen (5 bis 10 t oder darüber) geschmolzen und gesammelt werden sollen, um für einen einzigen Guss benutzt zu werden, zumal wenn ein nur geringer Silicium- und Mangangehalt des Schmelzerzeugnisses erwünscht ist; in zahlreicheren Fällen sind sie durch die unten besprochenen Kupolöfen ersetzt. Noch seltener sind sie für andere Zwecke (Bessemer- und Thomasverfahren) in Benutzung.

b) Die Flammöfen.

Die meisten zum Schmelzen des Roheisens bestimmten Flammöfen sind mit gewöhnlicher Rostfeuerung versehen. Sie sind gewöhnlich nur für einzelne, erst in längeren Zeiträumen sich wiederholende Schmelzen bestimmt und werden nach jedem Schmelzen wieder kalt gelegt; die Anwendung einer Gasfeuerung würde bei einem derartigen Betriebe kaum Nutzen gewähren und kostspieliger sein.

Ein derartiger Flammofen ist in Fig. 167 bis 169 abgebildet.

Wie Fig. 168 erkennen lässt, befindet sich der Sammelraum für das geschmolzene Roheisen unmittelbar hinter der Feuerbrücke, und nach Beendigung des Schmelzens wird das flüssige Metall durch ein an der vorderen Langseite des Ofens angebrachtes Stichloch (*a* in Fig. 169) abgelassen. Das Einsetzen des Roheisens erfolgt durch die Oeffnung *b*, welche alsdann mit Steinen zugesetzt wird, und zwar bringt man die Roheisenstücke möglichst in die Nähe des Fuchskanales. Das Roheisen fliesst dann beim Schmelzen auf der geneigten Sohle des Herdes abwärts den Gasen entgegen, um sich an der schon bezeichneten Stelle zu sammeln. Damit die Sohle dieses Sammelherdes (Sumpfes) gut vorgewärmt werde und das Roheisen während des Stehens daselbst nicht abkühle, muss die gewölbte Decke des Ofens hier tief heruntergezogen werden (Fig. 168), so dass auch die Flammen gezwungen sind,

1) Abbildung: Jars, Voyages métallurgiques, Lyon 1774, vol. I, pl. VI. Ausführliche Abbildungen, sowohl eines älteren Flammofens ohne Esse, als zweier verbesserter Flammöfen zum Roheisenschmelzen mit Esse, enthält das Werk: G. Monge, Description de l'art de fabriquer les canons, Paris, an II, pl. XVI–XXV.

nahe über der Sohle hinwegzuziehen. Die Erfüllung dieser Bedingung ist erfahrungsmässig für eine gute Leistung des Ofens unumgänglich; aber das Gewölbe leidet gewöhnlich stark, wenn es allzu tief heruntergeht, und muss deshalb mit besonderer Vorsicht hergestellt werden. *c* ist eine kleine Thür, welche die Beobachtung des geschmolzenen Roheisens, das Losbrechen etwa entstandener Ansätze u. s. w. ermöglicht.

Bei einer älteren Form dieser Flammöfen zum Roheisenschmelzen, welche unter anderen noch in manchen Giessereien des Siegerlandes gefunden wird, liegt der Sammelraum nicht hinter der Feuerbrücke, sondern am entgegengesetzten Ende des Ofens unter dem Fuchse, welcher aus der Decke nach der seitlich stehenden Esse führt. Das Roheisen wird dicht neben der Feuerbrücke eingesetzt, und der Herd fällt in der Richtung des Gasstromes. Das Stichloch liegt an der Stirnseite des Ofens unter dem Fuchse. Der Ofen wird dadurch dem auf Seite 131 in Fig. 21 dargestellten Flammofen ähnlich mit dem Unterschiede, dass der Fuchs *d* in der Decke des Ofens angebracht wird. Die Bauart dieser Oefen ist einfacher, die Decke dem Wegschmelzen weniger stark unterworfen; aber die Wärmeausnutzung soll weniger günstig sein.

Die Oefen pflegt man im Inneren aus Schamotteziegeln herzustellen, das Gewölbe bisweilen aus Dinasziegeln. Der Herd wird aus feuerfester Masse (Seite 164) auf einer zwischen den Umfassungswänden aufgeschütteten Unterlage von Sand, Brocken von Schamotteziegeln oder dergleichen aufgestampft.

Für die Abmessungen solcher Flammöfen mit Rostfeuerung lassen sich folgende Verhältnisszahlen annehmen.

Grösse der Herdfläche (von der Feuerbrücke bis zum Beginn des Fuchses) für je 1000 kg des in einem Einsatze zu schmelzenden Roheisens 0,5—1 qm (bei Oefen mit kleinem Einsatze mehr, mit grossem Einsatze weniger).

Länge des Herdes 3—4 m.

Grösse der gesammten Rostfläche = $^1/_3$ der Herdfläche.

Grösse des Flammenloches = 0,5—0,7 der gesammten Rostfläche.

Fuchsquerschnitt = $^1/_9 - ^1/_{10}$ der gesammten Rostfläche.

Essenquerschnitt an der engsten Stelle = $^1/_5$ der gesammten Rostfläche.

Essenhöhe etwa 25 m.

In Ausnahmefällen, nämlich dann, wenn ein ununterbrochenes Schmelzen während längerer Zeiträume stattfindet (beim Bessemer- oder Thomasbetriebe, vergleiche Abtheilung III), flammende, für die Heizung eines solchen Flammofens brauchbare, aber nicht verkokungsfähige Brennstoffe (Braunkohlen) billig zu beschaffen sind, Koks, welche für den Betrieb von Kupolöfen erforderlich sein würden, verhältnissmässig theuer zu stehen kommen, hat man Flammöfen mit Siemensfeuerung zum Roheisenschmelzen in Anwendung gebracht.[1]) Die Einrichtung dieser Oefen ist im wesentlichen die gleiche wie des in Fig. 23 bis 26 (Seite 136) abgebildeten Siemensofens.

1) Teplitzer Walzwerk, wo man die zur Thomashütte gehörenden Roheisenschmelzöfen mit Braunkohlengas heizt. Näheres hierüber: „Stahl und Eisen“ 1883, Seite 211.

Giesserei-Flammofen.

Fig. 167.

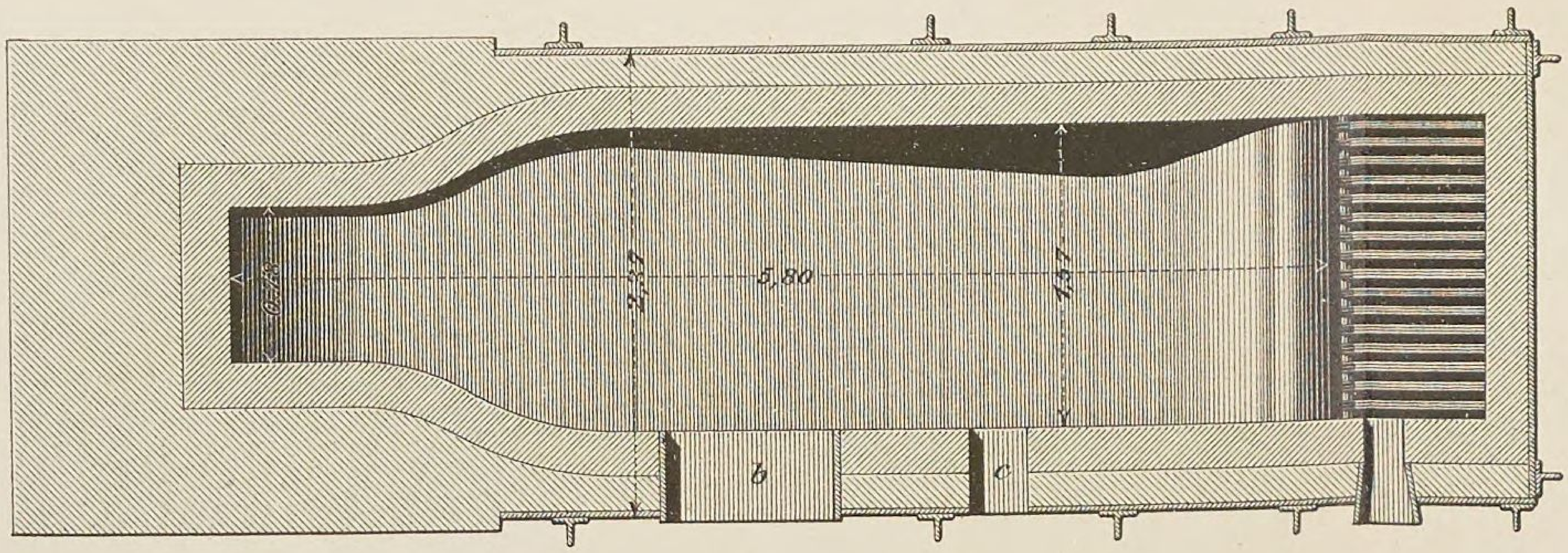


Fig. 168.

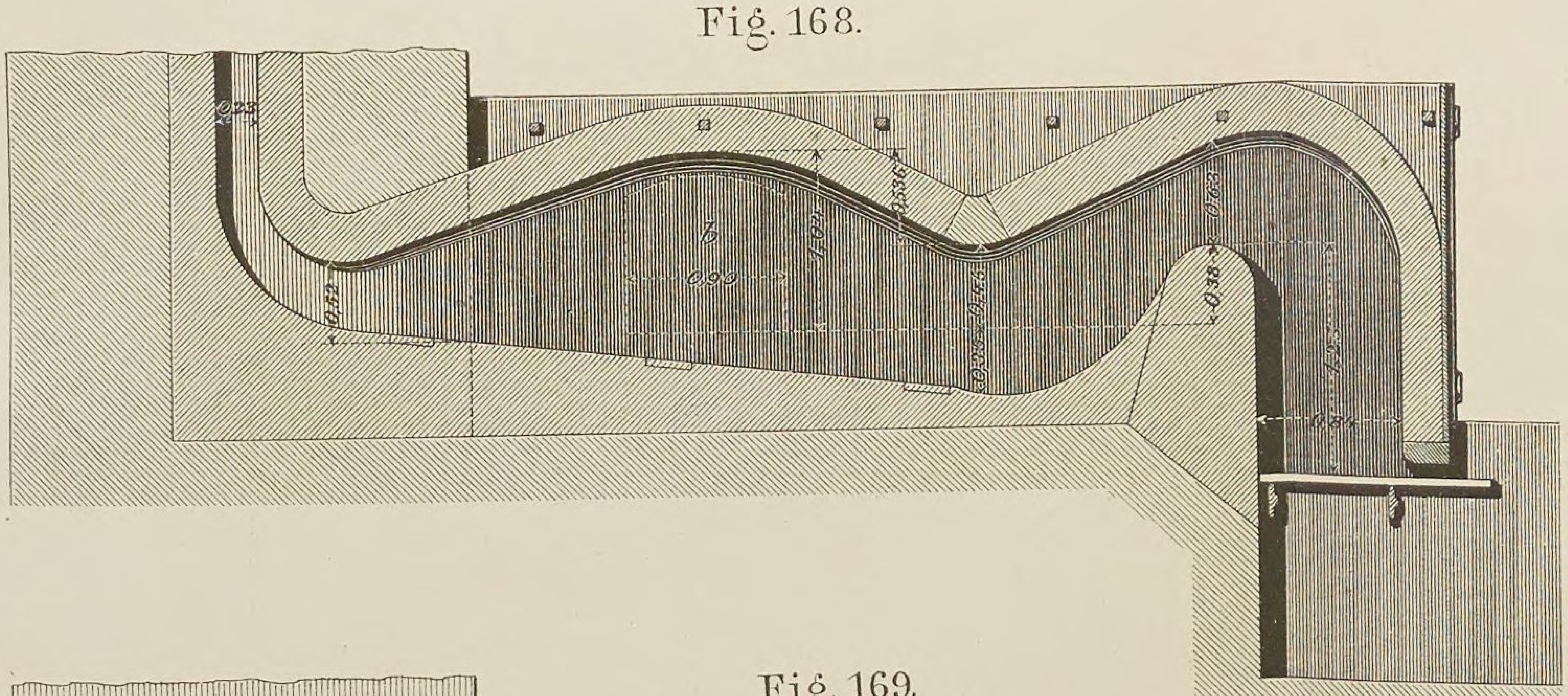
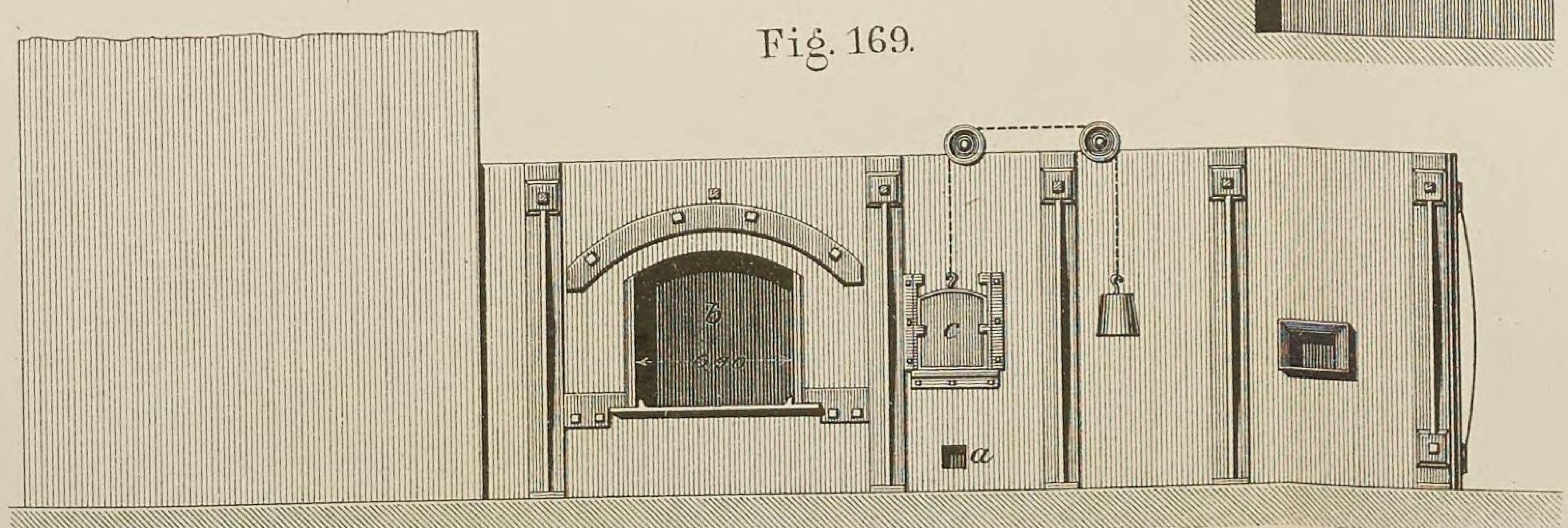


Fig. 169.



Verlag v. Arthur Felix, Leipzig.

Techn. art. Anst. v. Alfr. Müller, Leipzig-R.

c) Das Schmelzen und die Betriebsergebnisse.

Bei den Flammöfen, welche nur zeitweise benutzt und dann wieder kalt gelegt werden, pflegt man das Roheisen vor dem Anheizen einzubringen und so aufzusetzen, dass es von der vorüberziehenden Flamme gut getroffen wird. Dann schliesst man die Einsatzöffnung und beginnt mit dem Feuern. Während dieser Zeit beschränkt sich die Arbeit des Schmelzers auf die Unterhaltung des Feuers und Ueberwachung des schmelzenden Metalls, Losbrechen gebildeter Ansätze von der Herdsohle und dergleichen mehr. Ist alles Roheisen geschmolzen, so wird noch einmal kurze Zeit stark gefeuert, um die erforderliche Ueberhitzung des flüssigen Metalls zu erzielen; dann wird zum Abstiche geschritten.

Bei Benutzung von Siemensöfen wird der Ofen vor dem Einsetzen des Roheisens geheizt, bis er in volle Temperatur gekommen ist; dann bringt man das Roheisen in die Mitte des Herdes.

Die Zeitdauer des Schmelzens bei Oefen mit Rostfeuerung, vom Beginn des Anheizens an gerechnet, pflegt 5—6 Stunden zu sein; verarbeitet man mehrere Einsätze nach einander, so dass das Roheisen in den schon glühenden Ofen eingesetzt wird, so beschränkt sich die Schmelzzeit gewöhnlich auf 3—4 Stunden. In Siemensöfen ist nur eine Zeitdauer von etwa 2 Stunden für das Schmelzen eines Einsatzes erforderlich, sofern der Ofen schon beim Einsetzen sich in entsprechend hoher Temperatur befand.

Am häufigsten benutzt man für die Oefen mit Rostfeuerung Steinkohlen als Brennmaterial. Auch in den günstigsten Fällen beträgt der Brennstoffverbrauch zum Schmelzen von 1000 kg Roheisen nicht weniger als 350 kg Steinkohlen; häufiger beziffert er sich auf 500—700 kg, unter besonders ungünstigen Verhältnissen auf 1000 kg und darüber. Bei Anwendung von Braunkohlen, Torf oder Holz ist der Brennstoffverbrauch in demselben Maasse höher, als der Brennwerth dieser Brennstoffe niedriger ist.

Beim Schmelzen in Siemensöfen mit Braunkohlengas gebraucht man in Teplitz für 1000 kg Roheisen ungefähr 450 kg Braunkohlen, wobei der einmalige Roheiseneinsatz 6,5 t beträgt.

Der Metallverlust beim Flammofenschmelzen (Abbrand) pflegt 5 bis 8 Hunderttheile vom Gewichte des Einsatzes zu betragen.

d) Der chemische Verlauf des Flammofenschmelzens.

Damit die zum Schmelzen und Ueberhitzen des Roheisens erforderliche Temperatur im Ofen erreicht werde, ist die Erzielung einer thunlichst vollständigen Verbrennung, also die Bildung einer Flamme erforderlich, welche ausser Stickstoff vorwiegend freien Sauerstoff, Kohlensäure und Wasserdampf enthält. Diese Flamme wirkt stundenlang auf das Roheisen ein, welches ihr eine verhältnissmässig reichliche Oberfläche darbietet; eine theilweise Verbrennung einzelner Bestandtheile des Roheisens ist die Folge davon. In welchem gegenseitigen Verhältnisse die Körper hierbei ausscheiden, hängt zum Theile von ihrem ursprünglichen Gehalte im Roheisen ab. In jedem Falle wird eine gewisse Menge Eisen verbrannt, welches, obgleich weniger

leicht verbrennlich als Mangan und Silicium, doch in reichem Ueberschusse zugegen ist und daher leichter als diese Körper von der Einwirkung der Flamme erreicht wird. Neben dem Eisen verbrennt Mangan, dessen Neigung zum Verbrennen durch die Berührung mit den kieselsäurehaltigen Ofenwänden gesteigert wird; je manganreicher der Einsatz war, desto mehr bleibt das Eisen selbst vor der Verbrennung geschützt. Auch Silicium verbrennt; Kohlenstoff dagegen bleibt so lange vor der Verbrennung geschützt, als Mangan und Silicium noch in einigermaassen reichlichen Mengen im Metallbade anwesend sind. Sofern daher eine Entkohlung beim Schmelzen vermieden werden soll, gewährt die Wahl eines mangan- und siliciumreichen Einsatzes das Mittel hierfür. Schon ein Gehalt des Roheisens von 2 Hunderttheilen Mangan pflegt einen ausreichenden Schutz für den Kohlenstoffgehalt zu bilden, sofern nicht ungünstige Verhältnisse (z. B. verzögerter Verlauf des Schmelzens) das Maass der Oxydation in ungewöhnlicher Weise erhöhen.

Von dem Mangangehalte des Einsatzes brennt in gewöhnlichen Fällen ein Drittel bis zwei Drittel, von dem Siliciumgehalte ein Viertel bis zur Hälfte, von dem Kohlenstoffgehalte höchstens ein Sechstel weg.

Phosphor wird nicht ausgeschieden. Der Kohlenstoffgehalt des Roheisens und das kieselsäurereiche Ofenfutter verhindern vollständig die Verbrennung und Ausscheidung dieses Körpers (Seite 36 und 289).

Auch Kupfer, Arsen, Antimon lassen sich nicht entfernen, wie schon bei Besprechung des chemisch-metallurgischen Verhaltens dieser Körper hervorgehoben wurde.

Eine geringe Schwefelabscheidung würde vielleicht beim Schmelzen manganreicher Einsätze stattfinden können (Seite 293); enthalten aber die benutzten Brennstoffe Schwefel, so vermag das flüssige Eisen auch aus der Flamme Schwefel aufzunehmen (Seite 292). Eine Schwefelanreicherung wird in diesen Fällen häufiger sein als eine Schwefelabnahme. Zuverlässige Ermittelungen hierüber liegen nicht vor.

D. Das Schmelzen in Kupolöfen.

a) Geschichtliches.

Schachtöfen, welche zum Umschmelzen des Roheisens in unmittelbarer Berührung mit den Brennstoffen bestimmt sind, nennt man Kupolöfen. Die Benennung ist von dem englischen Worte *cupola-furnaces* abgeleitet und bedeutet eigentlich Kuppelöfen. Da der Ofen eine Kuppel nicht besitzt, ist der Name zwar nicht gut gewählt, trotzdem aber in mehr oder weniger veränderter Form in die Sprachen der meisten Länder übergegangen, wo man sich dieser Oefen bedient (z. B. französisch *cubilot*).[1])

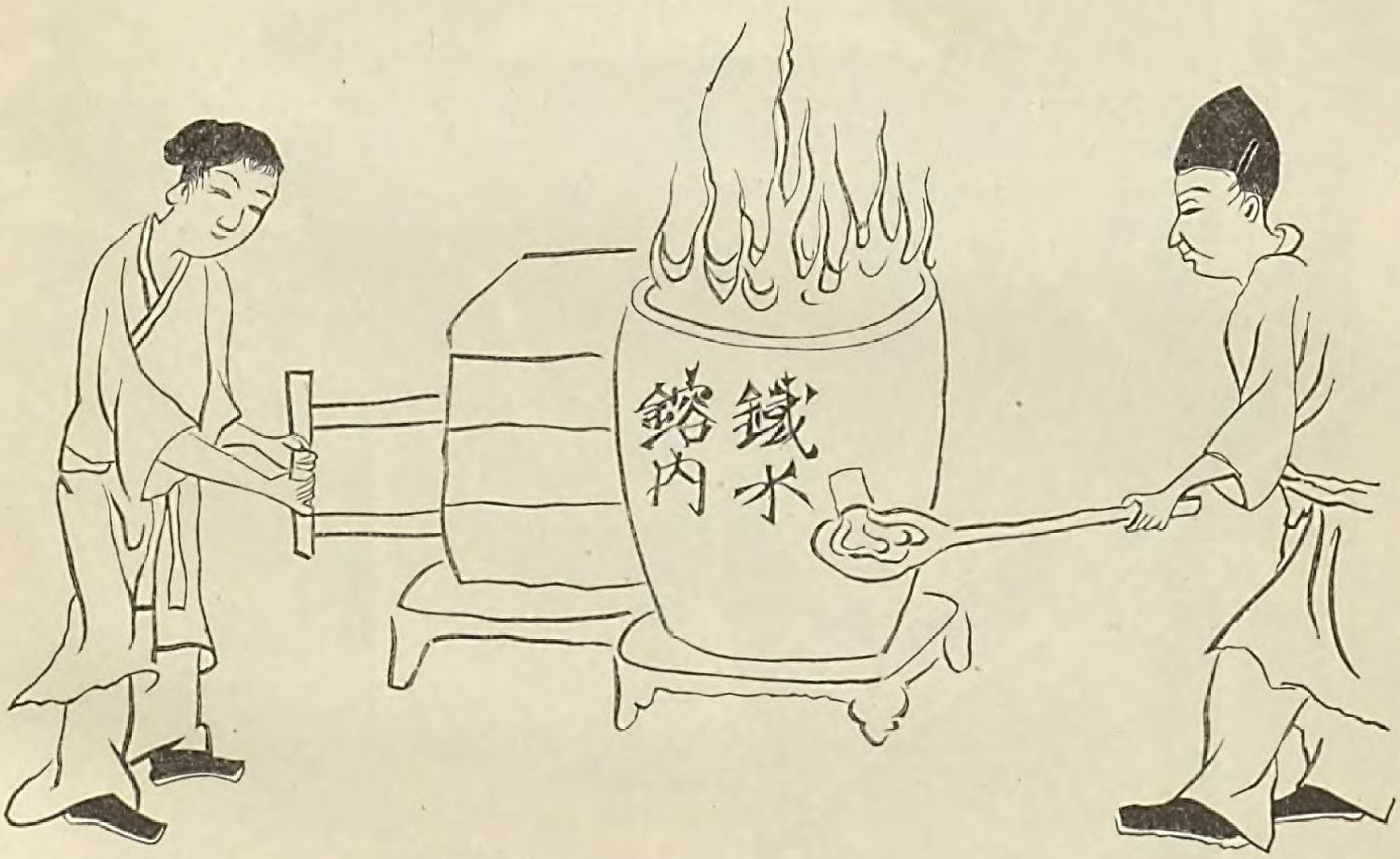
Schachtöfen, welche zum Umschmelzen von Roheisen dienten, waren in China schon um 1630 in Benutzung. Die Abbildung Fig. 170,

1) Woher die Benennung stammt, lässt sich nicht mit Sicherheit angeben. Wie es scheint, nannte man anfänglich die zum Umschmelzen des Roheisens bestimmten, mit einem Gewölbe überspannten Flammöfen mitunter Kupolöfen; durch eine Verwechselung der Begriffe wurde die Benennung später, als die Kupolöfen häufiger für den gleichen Zweck in Anwendung kamen, auf diese übertragen.

aus einem in dem genannten Jahre erschienenen Werke des chinesischen Gelehrten Sung entnommen, zeigt einen solchen altchinesischen Kupolofen, zum Giessen eiserner Kessel bestimmt. Die Inschrift auf dem Ofen besagt: „Eisen wird hierin geschmolzen.“ Der Ofen zur Darstellung des Roheisens aus Erzen ist auf einem andern, hier nicht wiedergegebenen Blatte des erwähnten Buches abgebildet.[1]) Der Betrieb des Ofens erfolgt, wie die Abbildung erkennen lässt, durch ein von Hand betriebenes Kastengebläse. Solche Gebläse sind noch heute in China in Anwendung.

In Europa findet man die ersten Spuren kleiner, zum Umschmelzen von Roheisen (Alteisen) dienender Schachtöfen in Frankreich im Beginne des achtzehnten Jahrhunderts. Reisende Giesser zogen im Lande umher, um den Bedarf der Einwohner an kleinen Gusseisengegenständen

Fig. 170.



— Töpfen, Kaminvorsetzern u. dergl. m. — zu decken. Um das erforderliche flüssige Metall zu erhalten, setzten sie einen oben und unten offenen und deshalb *la manche* genannten tragbaren Schacht[2]) von etwa 60 cm Höhe mit dem unteren Rande auf einen in den Erdboden eingegrabenen Tiegel oder eine Giesspfanne, verstrich die Fuge mit Lehm, füllte den Ofen mit Holzkohlen, blies durch eine seitliche Oeffnung Wind ein und begann, wenn der Ofen sich in Weissgluth befand, mit dem Setzen des in kleine Stücke zerschlagenen Alteisens.

1) Eine Abbildung des letzteren Ofens ist in Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Band XVI, Seite 191 enthalten.

2) Die Oefen hiessen daher *fours à manche*, und dieser Name blieb für Kupolöfen neben der später entstehenden Benennung *cubilot* bis zum dritten Jahrzehnt des neunzehnten Jahrhunderts üblich. Beispiel: Annales des mines, série 2, tome VI (1829), p. 83.

Wenn die genügende Menge Eisen geschmolzen war, warf man den Schacht zur Seite, hob den Tiegel oder die Pfanne mit dem flüssigen Metalle empor und entleerte sie in die Gussform. In Fig. 171, aus dem im Jahre 1722 erschienenen Werke von Réaumur: „L'art de convertir le fer forgé en acier et l'art d'adoucir le fer fondu ou de faire des ouvrages de fer fondu aussi finis que de fer forgé" stammend, ist diese Betriebsweise bildlich dargestellt. In der Mitte sieht man einen in Gluth befindlichen Ofen mit dem zugehörigen Gebläse; die darunter befindliche Pfanne ist nicht erkennbar, da ringsherum Holz-

Fig. 171.



kohlen aufgeschüttet sind. Rechts wird eine bereits gefüllte Pfanne in die Gussform entleert; dahinter liegt der zur Seite geworfene Schacht und hinter diesem gewahrt man das für seinen Betrieb benutzte Gebläse und die Vertiefung des Erdbodens, in welcher die Pfanne beim Schmelzen sich befand.

Auch in grösseren Giessereien Frankreichs fanden diese kleinen Kupolöfen ihrer bequemen Benutzungsweise halber Eingang. Später ersetzte man sie häufig durch Oefen, welche im Boden geschlossen und in Zapfen aufgehängt waren, um durch Kippen entleert werden zu können. Solche Sturzöfen fanden in manchen Gegenden viel Beifall

und wurden noch in den ersten Jahrzehnten des neunzehnten Jahrhunderts mehrfach benutzt.[1])

Grössere feststehende Oefen, zum Umschmelzen des Roheisens in Eisengiessereien bestimmt, erschienen zuerst um 1790 oder wenig früher in Grossbritannien. Ein Engländer Wilkinson führte sie ein oder erhielt wenigstens ein Patent auf besondere Eigenthümlichkeiten der von ihm gebauten Oefen; daher nannte man sie anfänglich häufig Wilkinsonöfen, und noch in Abhandlungen aus den vierziger Jahren begegnet man mitunter dieser Bezeichnung, neben welcher allerdings schon seit dem Beginne des Jahrhunderts der Name Kupolöfen auftaucht. Von den erwähnten älteren Schachtöfen zum Roheisenschmelzen unterscheiden sie sich nicht allein durch ihre grösseren Abmessungen, sondern auch dadurch, dass ihre Entleerung von flüssigem Metalle durch Oeffnen eines Stichloches am Boden bewirkt wird, wodurch man befähigt ist, den Betrieb ohne Unterbrechung beliebig lange fortzuführen. Diese Wilkinsonöfen stimmen in ihren Haupteigenthümlichkeiten mit den jetzt üblichen Kupolöfen überein; aber in den Einzelheiten der Anordnung sind mehrfache wesentliche Verbesserungen eingeführt worden.[2])

b) Die Kupolöfen.

Fast immer betreibt man den Kupolofen mit Hülfe eines Gebläses, welches ihm die Verbrennungsluft zuführt. In einzelnen Fällen freilich hat man die Anwendung eines Gebläses entbehrlich gemacht, indem man die Gicht durch einen Parryschen oder ähnlichen Gasfang schliesst und die Gase durch einen Dampfstrahl absaugt, welcher in das zur Ableitung der Gase dienende Rohr geleitet wird (Saugkupolöfen von Woodward[3]) und von Herbertz[4])). Dem Vortheile der Ersparung des Gebläses steht bei diesen Oefen aber der Nachtheil eines höhern Dampfverbrauches[5]) und die Schwierigkeit gegenüber, grosse Mengen Roheisen rasch zu schmelzen. Ihre Anwendung ist daher ziemlich vereinzelt geblieben.

Die erforderliche Windpressung bei Gebläse-Kupolöfen braucht, wie unten ausführlicher begründet werden wird, niemals hoch zu sein und geht selten über 0,05 kg auf 1 qcm (500 mm Wassersäule) hinaus; meistens ist sie niedriger. Daher würde die Anwendung eines Cylindergebläses unzweckmässig sein, dessen Anlage und Wartung kostspielig ist, und dessen Wirkungsgrad um so ungünstiger ausfällt, je niedriger die zu erzeugende Windspannung ist. Centrifugalgebläse (auch Ventilatoren genannt) oder Kapselgebläse (Rootssches Gebläse, Krigars

1) Abbildung eines kleinen Sturzofens, aus Réaumurs genanntem Werke entnommen, enthält „Stahl und Eisen“ 1885, Blatt VII (Märzheft); ein grösserer Sturzofen aus dem Beginn des neunzehnten Jahrhunderts ist beschrieben in Norberg, Ueber die Produktion des Roheisens in Russland und über eine neue Schmelzmethode in Sturzöfen. Deutsch von Blumhof. Freiberg 1805.

2) Abbildungen von Wilkinsonöfen findet man unter anderen in: Annales des arts et manufactures, tome I, p. 156; Blumhof, Encyklopädie der Eisenhüttenkunde, Giessen 1816.

3) Berg- und hüttenmännische Zeitung 1866, Seite 44, 126; 1869, Seite 305.

4) „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 399 und 557; Glasers Annalen, Band XIX, Seite 172.

5) Glasers Annalen, a. a. O.

Schraubengebläse u. a.) genügen vollständig dem Zwecke [1]), sind weit billiger und erfordern weniger Platz als ein Cylindergebläse.

Die Windmenge, welche ein solches Gebläse dem Kupolofen zuführt, lässt sich nur aus der Zusammensetzung der Gichtgase und der Menge des in der Minute verbrannten Kohlenstoffs, nicht aus der Windspannung und der Grösse des Ausflussquerschnitts berechnen, da die Widerstände, welche die Gase im Ofen finden, grösseren Einfluss auf die Windspannung ausüben als die Geschwindigkeit im Ausflussquerschnitte. Die Zusammensetzung der Gichtgase wird unten Besprechung finden; ihrer durchschnittlichen Zusammensetzung gemäss kann man für Ermittelung von Annäherungswerthen annehmen, dass für jedes Kilogramm verbrannten Kohlenstoffs der Ofen 8,5 cbm Wind erhält. [2])

Nicht selten betrachtete man früher den Kupolofen als eine kleine Abart des Hochofens und richtete dieser Anschauung gemäss die Windzuführung ein. Man vergass, dass in dem Hochofen Eisenerze reducirt werden sollen, während in dem Kupolofen nur bereits fertiges Roheisen umgeschmolzen wird. Für die Erfüllung der Aufgabe des Hochofens muss aller vor die Formen gelangende Brennstoff zu Kohlenoxyd verbrannt werden; der Kupolofen wird mit um so geringerem Aufwande an Brennstoff das Roheisen schmelzen, je reichlichere Mengen Kohlensäure vor den Formen gebildet werden.

Noch in den sechziger Jahren dieses Jahrhunderts waren die meisten Kupolöfen mit nur einer bis zwei engen Windformen versehen, durch welche eine verhältnissmässig geringe Menge hochgespannten Windes eingeblasen wurde. Die Verbrennung verlief ähnlich wie bei Hochöfen, und eine lange, blaue, aus der Gicht emporschlagende Flamme verrieth die reichliche Menge des in den Gichtgasen enthaltenen Kohlenoxydes. Nachdem man den Unterschied beider Ofengattungen besser zu würdigen gelernt hatte und hiernach die Einrichtung der Kupolöfen, zumal die Art und Weise der Windzuführung, änderte, ermässigte sich der erforderliche Brennstoffverbrauch zum Schmelzen der gleichen Roheisenmenge auf etwa ein Drittel des früheren. [3])

Die Lösung jener Aufgabe, vor den Formen vorwiegend Kohlensäure statt Kohlenoxyd zu erzeugen, wird durch die Erfüllung nachfolgend genannter Bedingungen ermöglicht.

Anwendung dichter Brennstoffe (vergl. Seite 38). Holzkohlen liefern daher — im Gegensatze zum Hochofenbetriebe — in allen Fällen ungünstigere Ergebnisse als Koks.

Rasches Aufsteigen der Gase, um eine allzu lange ausgedehnte Berührung mit den entgegenrückenden Brennstoffen und eine dadurch beförderte Reduction von Kohlensäure zu Kohlenoxyd auf Kosten des Brennstoffs zu vermeiden; also rascher Schmelzgang,

1) Ueber die Einrichtung solcher Gebläse: von Hauer, Hüttenwesensmaschinen, Leipzig 1876, Seite 208; Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Band III, Seite 81; Dürre, Handbuch des Eisengiessereibetriebes, 3. Auflage, Band I, Seite 655.

2) Lürmann fand 8,23 cbm Wind für 1 kg Kohlenstoff. „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 309.

3) Dass dieser Erfolg möglich war, lässt sich erkennen, wenn man die Wärmeentwickelung der gleichen Menge Kohle bei der Verbrennung zu Kohlenoxyd und zu Kohlensäure mit einander vergleicht. Im ersten Falle erfolgen 2473, im anderen 8080 W.-E. (Seite 46).

herbeigeführt durch reichlich zugeführte Windmengen. Als erforderlichen Schachtquerschnitt im Schmelzraume zum Schmelzen von je 1000 kg Roheisen in einer Stunde kann man 700 bis 1000 qcm rechnen, um so weniger, je vorzüglicher der Koks ist.

Schwache Pressung und reichliche Vertheilung des einströmenden Windes. Die Wirkung dieses Mittels hinsichtlich der reichlicheren Kohlensäurebildung wurde auf Seite 38 und 39 erläutert. Es kommt hinzu, dass bei gleicher Arbeitsleistung der Betriebsmaschine das Gebläse um so reichlichere Windmengen liefert, je geringer die Windspannung ist; reichliche Windmengen aber befördern nach Obigem ebenfalls die Brennstoffausnutzung. Die Ausflussquerschnitte aus der Windleitung müssen so reichlich bemessen sein, dass die in der Leitung messbare Spannung fast nur durch den Widerstand, welchen die Gase im Ofen selbst finden, hervorgerufen wird. 0,05 kg Windspannung auf 1 qcm (50 cm Wassersäule) wurde bereits als die höchste zweckmässigerweise anzuwendende Pressung beim Kupolofenbetriebe bezeichnet; meistens ist sie geringer.

Die Grösse der Windeinströmungsöffnungen (Formen) muss demnach reichlich bemessen sein; man kann dafür $^1/_8$ — $^1/_2$ des engsten Schachtquerschnitts rechnen, ohne fürchten zu müssen, zu viel zu thun. Ihre Anordnung, d. h. die Vertheilung der einzelnen Oeffnungen im Ofen, kann sehr verschiedenartig sein, und die zahlreichen Kupolofenarten, welche im Laufe der Jahre in den Betrieb eingeführt wurden, unterscheiden sich im Wesentlichen nur durch die verschiedene Anordnung der Windeinströmungen. Besondere Vorzüge der einen oder anderen Anordnung sind dabei selten zu erkennen, sofern nur der allgemeinen Regel, dem Windstrome reichlichen Querschnitt und reichliche Vertheilung zu geben, genügt wird. Bei einzelnen Kupolöfen gelangt der Wind durch einfache kreisrunde Oeffnungen in den Ofen; bei anderen sind zwei Reihen solcher Oeffnungen in Abständen von 0,5—1 m über einander angebracht, oder die Oeffnungen sind nach einer steilen Schraubenlinie angeordnet; noch andere Oefen haben längliche Schlitze als Einströmungen mit geringer Breite und bedeutender Höhe, wodurch die Vertheilung des Windes auf einen grossen Raum erleichtert wird, u. s. f. Die unten gegebenen Beispiele ausgeführter Kupolöfen werden einzelne dieser Anordnungen näher veranschaulichen.

Auch die innere Form des Kupolofenschachtes kann ziemlich verschieden sein. Die einfachste Form ist der Cylinder; bisweilen auch giebt man dem Schachte die Form eines abgestumpften Kegels, d. h. man macht den Gichtdurchmesser ein wenig kleiner als den Durchmesser im unteren Theile, um das Aufhängen sperriger Roheisenstücke an den Wänden zu erschweren. Im Gegensatze hierzu findet man auch nicht selten Kupolöfen, deren Schacht unten, ähnlich wie bei Hochöfen, verengt ist, theils um das Vordringen des Windes bis zur Mitte des Ofens zu erleichtern, theils auch, um hier, wo die Schachtsteine am raschesten wegschmelzen, eine etwas grössere Steinstärke zu erhalten (z. B. bei dem unten in Fig. 172 dargestellten Kupolofen). Bei sehr weiten Oefen empfiehlt sich ein länglicher statt kreisförmiger Querschnitt mit den Windeinströmungsöffnungen an den beiden Langseiten, damit der Wind gleichmässiger bis zur Mitte vordringe.

Die Höhe des Ofens soll nicht so knapp bemessen sein, dass die Gase noch sehr heiss der Gicht entströmen, während andrerseits eine zu beträchtliche Ofenhöhe die Widerstände für das Aufsteigen der Gase steigert (also bei gegebener Windspannung die Menge des zugeführten Windes schmälert) und zu einer Reduction der vor den Formen entstandenen Kohlensäure zu Kohlenoxyd Veranlassung geben kann. Eine Höhe von 2,5 m über den Formen kann als das geringste, von 4,5 m als das höchste zweckmässige Maass bezeichnet werden.

Der Herd des Kupolofens (Sammelraum für das flüssige Metall) wird entweder in gleicher Weise wie bei Hochöfen mit geschlossener Brust unmittelbar unter den Windöffnungen angeordnet (vgl. auf f. S. die Abbildung Fig. 172), oder man bringt neben dem Schachte einen Vorherd an (vgl. auf S. 617 Fig. 174), in welchem die geschmolzenen Massen sich sammeln. Letztere Einrichtung, von Krigar eingeführt, empfiehlt sich besonders dann, wenn grosse Mengen Roheisen angesammelt werden sollen, ehe zum Abstiche geschritten wird; das Schmelzen im Ofenschachte bleibt alsdann ganz unbeeinflusst von dem höheren oder niedrigeren Stande des Roheisens im Herde. Das an der tiefsten Stelle des Herdes befindliche Stichloch pflegt 50 bis 90 cm über dem Fussboden der Hütte angebracht zu werden. Soll das ausfliessende Roheisen in einer Giesspfanne aufgefangen werden, so befestigt man vor dem Stichloche eine mit Lehm ausgekleidete eiserne Rinne, unter welche die Pfanne gestellt wird.

Nachtheilig würde bei Kupolöfen eine starke Erhitzung des Gebläsewindes sein, da sie die Bildung von Kohlenoxyd befördert (Seite 39). Der Ersparung an Brennstoff, welche durch die vom heissen Winde zugeführte Wärme ermöglicht wird, steht der grössere Mehrverbrauch durch reichlichere Kohlenoxydgasbildung gegenüber. Nach der Einführung der Winderhitzung bei Hochöfen ging man, angespornt durch die hierbei erlangten günstigen Ergebnisse und befangen in unklaren Anschauungen über die eigentliche Wirkungsweise des heissen Windes, vielfach daran, auch bei dem Kupolofenbetriebe dieses Mittel anzuwenden; aber bald überzeugte man sich von dessen Zwecklosigkeit, welche um so deutlicher hervortrat, je mehr man lernte, durch Befolgung der in Vorstehendem aufgeführten Regeln den früheren hohen Brennstoffverbrauch der Kupolöfen auf ein geringeres Maass abzumindern. Eine Erwärmung des Windes auf Temperaturen unter 100° C., welche man bisweilen bewirkt hat, indem man den Wind durch Kanäle im Ofengemäuer hindurchführte, ist zwar ohne Nachtheil, aber auch nutzlos.

Für den Aufbau der Kupolöfen pflegt man Schamotteziegeln zu benutzen, deren Stärke 200 bis 400 mm beträgt; zum Schutze bekommt der Ofen einen Mantel aus Eisenblech.

Kühlungen zum Schutze des Mauerwerkes, ähnlich den Kühlungen der Hochöfen, sind bislang nur vereinzelt zur Anwendung gebracht worden, da jeder Kupolofen sich rasch in und ausser Betrieb setzen lässt und deshalb Ausbesserungen des Mauerwerkes sich leicht vornehmen lassen. Auch eine vollständige Auswechselung ist in kurzer Zeit zu bewirken. Hier und da hat man allerdings den Schmelzraum des Kupolofens vollständig mit einem wassergekühlten Mantel aus

Eisenblech ohne jede Steinausfüllung umgeben; aber obgleich die Versuche zeigten, dass der Mantel sich gut hielt und der Brennstoffverbrauch nicht erheblich stieg, hat das Verfahren doch nur wenig Nachahmung gefunden.[1])

Fig. 172.

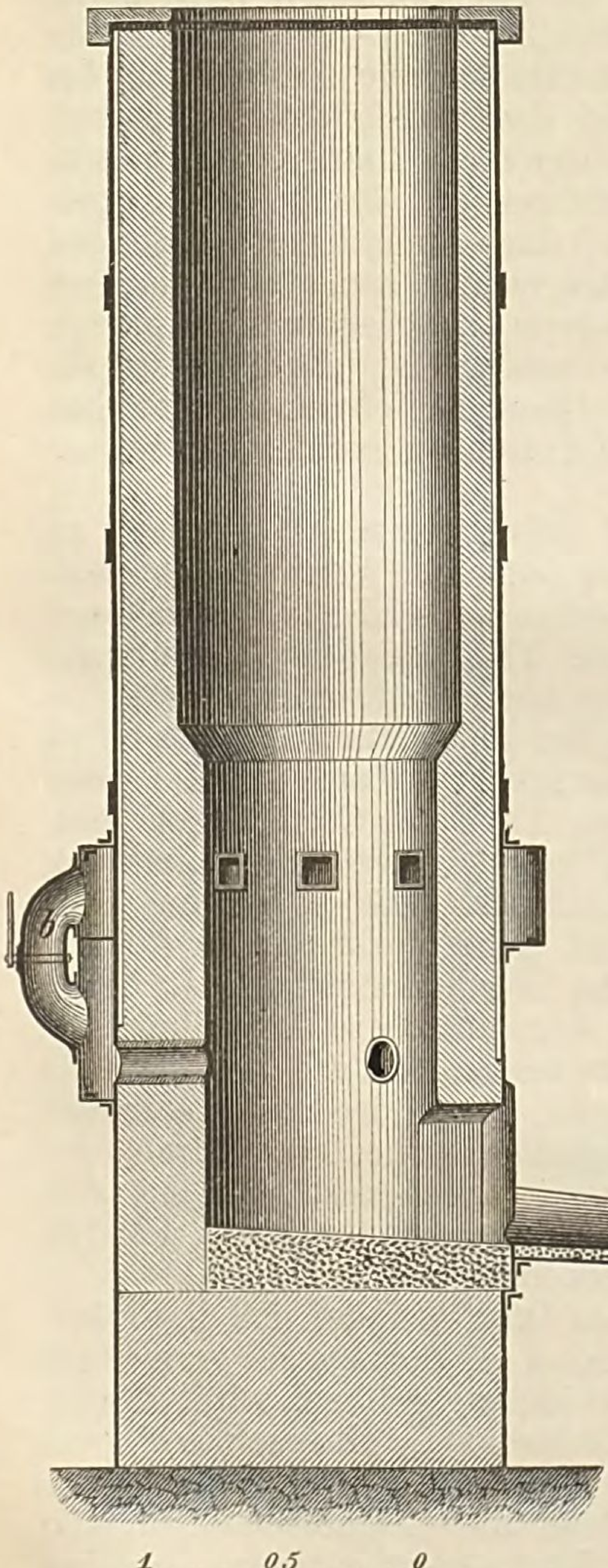
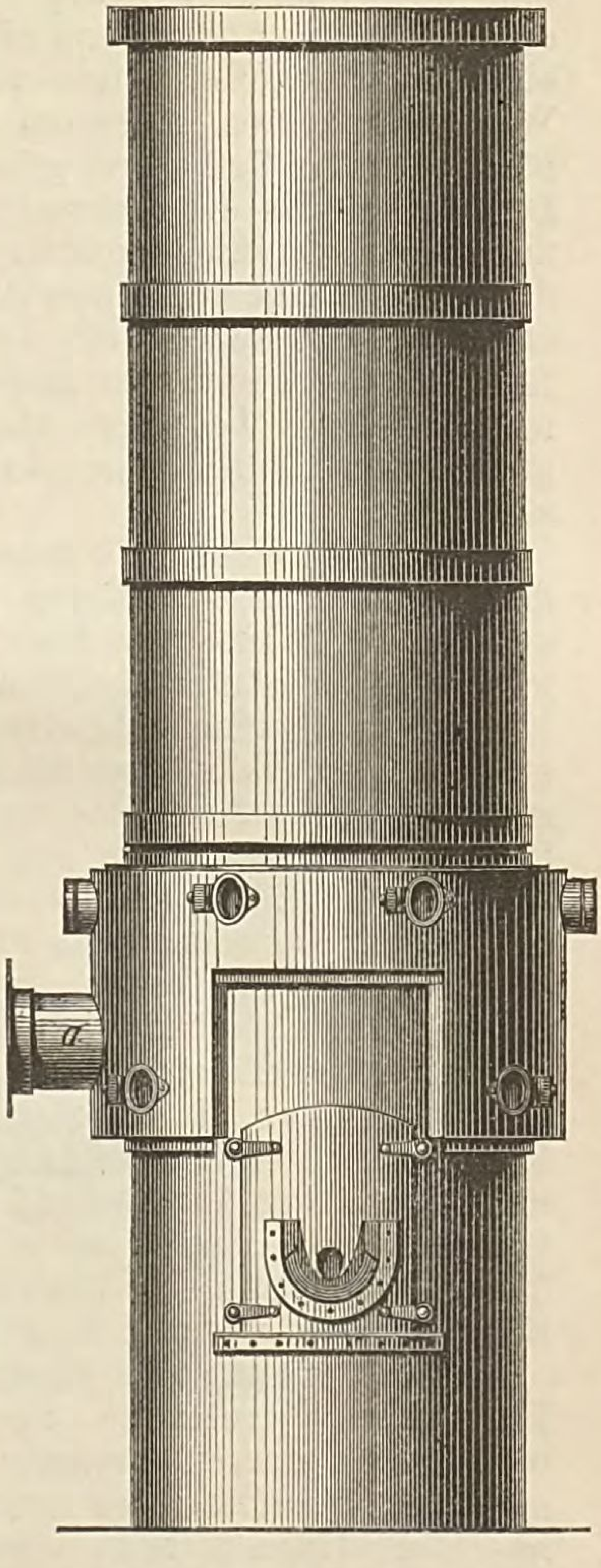
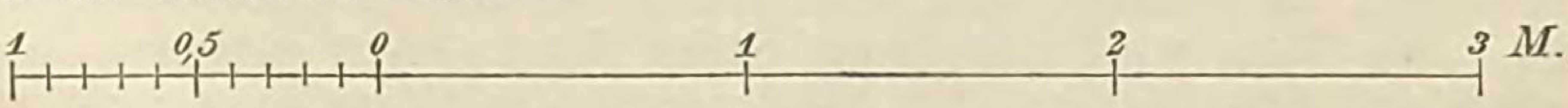


Fig. 173.





Einige Beispiele bewährter Kupolöfen mögen als Ergänzung der gegebenen Mittheilungen dienen.

1) Näheres hierüber: Berg- und hüttenmännische Zeitung 1878, Seite 149 (Gröditzer Kupolofen); Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1882, Seite 526 (Gmelins Kupolofen).

In Fig. 172 und 173 ist eine vielfach angewendete Kupolofenform abgebildet, deren Haupteigenthümlichkeit in der Anordnung zweier Reihen Windöffnungen über einander in einem Abstande von 0,5 bis 1 m besteht. Oefen mit derartiger Windvertheilung wurden in den sechziger Jahren zuerst von dem Engländer Ireland gebaut und werden deshalb auch jetzt noch häufig Irelandöfen genannt.[1]) Die Einrichtung ermöglicht die Anbringung einer grösseren Zahl von Oeffnungen als in einer einzelnen Reihe und befördert unmittelbar die Ausbreitung des Windes auf einen grösseren Raum. Bei dem abgebildeten Ofen enthält die untere Reihe drei grössere, die obere sechs kleinere Oeffnungen. Das Verhältniss des Querschnitts der unteren und oberen Oeffnungen findet man mitunter derartig bemessen, dass sämmtliche Oeffnungen der oberen Reihe zusammen den halben Querschnitt sämmtlicher unterer Oeffnungen besitzen; ein etwas geringerer Querschnitt der oberen Reihe im Vergleiche zu derjenigen der unteren ist jedenfalls zweckmässig. Dass bei dem abgebildeten Ofen die oberen Oeffnungen quadratischen, die unteren kreisrunden Querschnitt besitzen, ist nebensächlich.

Der vom Gebläse kommende Wind gelangt zunächst in einen an dem Blechmantel befestigten, ringsherum laufenden Vertheilungskanal, der wie der Mantel aus Eisenblech gefertigt ist, und aus diesem nach jenen Windeinströmungsöffnungen. Eine Theilung des Vertheilungskanales durch eine Scheidewand in eine obere und untere Hälfte ist zweckmässig, damit man im Stande sei, bei Inbetriebsetzung des Ofens zunächst allein durch die unteren Oeffnungen zu blasen. Indem man hierbei die Verbrennung auf den unteren Theil des Ofens beschränkt, wärmt man diesen stärker an und verhütet leichter eine Abkühlung des später ankommenden flüssigen Roheisens. Die Abbildung lässt diese Einrichtung erkennen. Der Wind gelangt durch das Rohr *a* von aussen in die untere Abtheilung des Vertheilungskanales, durch das mit Drosselklappe versehene Rohr *b* in die obere Abtheilung.

Damit man die Vorgänge im Innern beobachten und nöthigenfalls Reinigungen der Windöffnungen vornehmen könne, ist hinter jeder der letzteren in der Aussenwand des Vertheilungskanales eine durch eine Glimmerplatte verschlossene Schauöffnung angebracht, welche sich öffnen lässt, wenn eine Eisenstange eingeschoben werden soll. Fig 173 lässt mehrere dieser Schauöffnungen erkennn.

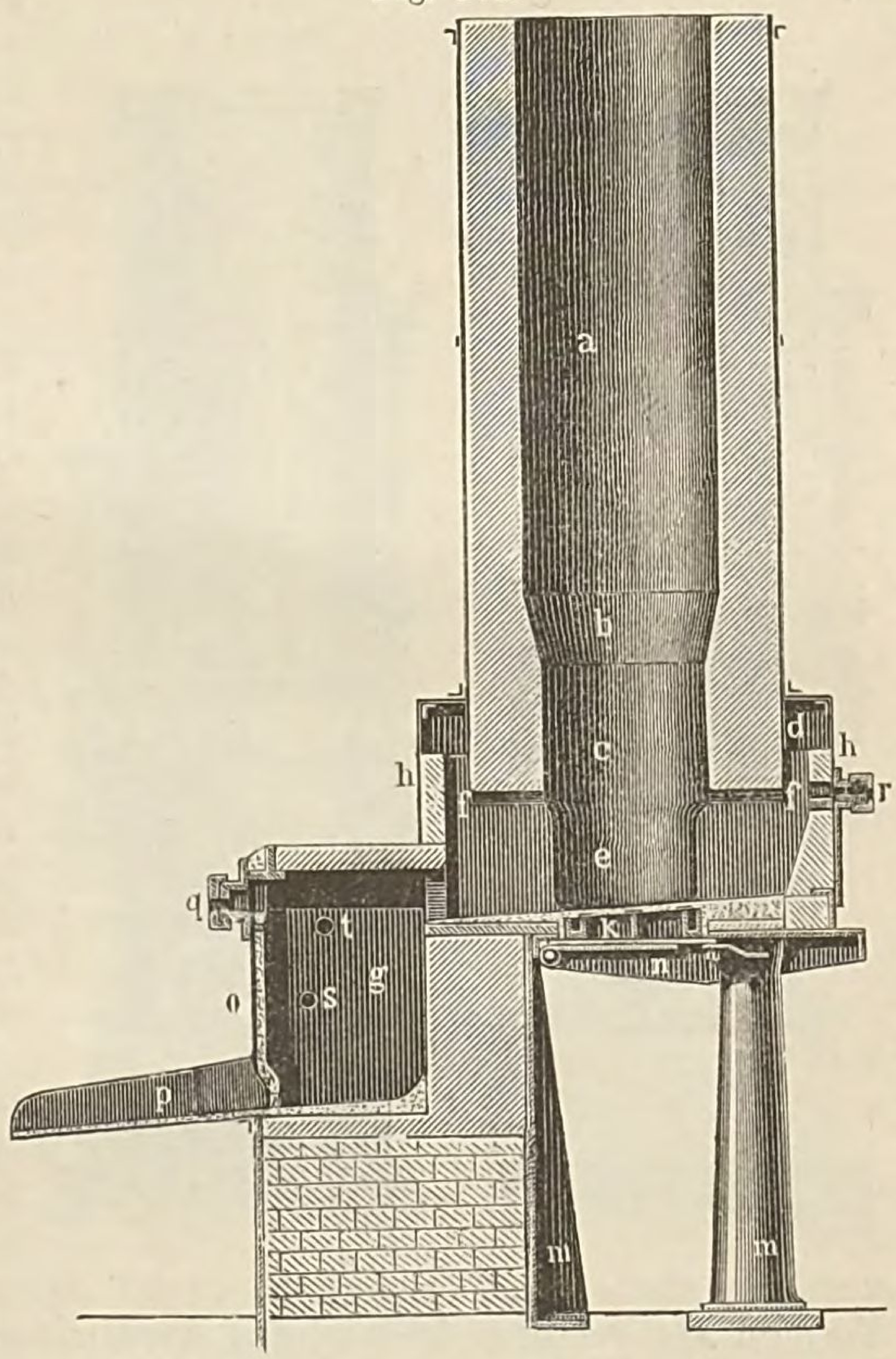
Eine Oeffnung zum Einsteigen in den Ofen befindet sich in diesem Falle an der Vorderseite. Sie wird während des Schmelzens vermauert, wobei unten eine entsprechend weite Stichöffnung gelassen wird. Damit nicht der Druck des sich sammelnden Roheisens die eingesetzten Steine aus ihrer Lage bringe, wird vor der Oeffnung eine Eisenblechthür befestigt, an welcher hier eine Gussrinne aus Eisenblech angenietet ist. Die Thür wird von einem Stück Winkeleisen getragen, welches unterhalb derselben an den Blechmantel des Ofens angenietet ist.

Eine eigenthümliche Art der Windvertheilung findet sich bei den von H. Krigar in Hannover seit Mitte der sechziger Jahre gebauten und nach ihm benannten Kupolöfen, deren ursprüngliche und auch noch

1) Abbildung eines älteren Irelandofens: Ledebur, Handbuch der Eisen- und Stahlgiesserei, 2. Auflage, Seite 107.

jetzt nicht selten angewendete Einrichtung durch die Abbildung Fig. 174 veranschaulicht ist ($^1/_{50}$ der wirklichen Grösse). Auch hier ist ein rings um den Mantel des Ofens herum laufender Vertheilungskanal *d* angeordnet; aus diesem aber gelangt der Wind nicht, wie bei dem früher besprochenen Ofen, durch zahlreiche wagerecht gerichtete Oeffnungen in den Ofen, sondern er tritt zunächst durch zwei abwärts führende Kanäle oder Schlitze *ff*, welche einander gegenüber angebracht sind, in breite überwölbte Oeffnungen, welche bis auf den Boden herabgehen, und durch diese in das Innere. Die Breite jeder dieser Oeffnungen und somit auch der Schlitze *ff* pflegt $^1/_6$—$^1/_5$ des ganzen inneren Ofenumfanges zu betragen, die Höhe der Oeffnungen schwankt zwischen 400 und 700 mm, je nachdem der Ofen mit oder ohne Vorherd versehen ist.

Fig. 174.



Der Anordnung eines Vorherdes *g* zum Sammeln des geschmolzenen Roheisens wurde schon oben gedacht. *s* und *t* sind Oeffnungen zum Ablassen der Schlacke. Vorn ist der Vorherd durch eine Thür *o* verschlossen, an welcher die Gussrinne *p* befestigt ist. *q* und *r* sind Schauöffnungen mit Glimmerplatten.

Eigenthümlich ist bei diesem Ofen auch die Einrichtung des Bodens unter dem Schmelzraume. Er besteht aus einem stark gegossenen Gusseisenrahmen *n*, an welchem der Eisenblechmantel des Ofens befestigt ist, und welcher durch die gusseiserne Rückwand *m* des Vorherdes und zwei kurze Gusseisensäulen getragen wird (von denen nur die eine in der Abbildung sichtbar und mit *m* bezeichnet ist). In der Mitte des Rahmens *n* befindet sich eine Oeffnung, deren Durchmesser ungefähr dem inneren Durchmesser des Ofenschachtes entspricht. Eine Klappe *k*, durch einen Riegel oder Vorreiber festgehalten, schliesst während des Schmelzens die Oeffnung, und eine Lage festgestampfter und getrockneter Masse, aus welcher, wie gewöhnlich, die Herdsohle hergestellt ist, schützt die Klappe vor dem Glühendwerden. Nach Beendigung

des Schmelzens wird der Verschluss der Klappe gelöst, so dass sie aufschlägt und alle noch im Ofen befindlichen glühenden Massen, welche sonst durch lange eiserne Haken durch die Thür des Ofens entfernt werden müssen, herausstürzen.

In den Einzelheiten der Ofenform und der Windeinführung des Krigarschen Ofens sind im Laufe der Zeit mancherlei Aenderungen eingeführt worden, welche jedoch nicht gerade als wesentliche Verbesserungen des auch in der beschriebenen Anordnung als zweckmässig bewährten Ofens bezeichnet werden können.[1]) Der Vorherd des Krigarschen Ofens und die Anwendung der Bodenklappe zum Ausräumen sind aber später auch bei verschiedenen anderen Kupolöfen ziemlich häufig in Anwendung gebracht worden.

Fig. 175.

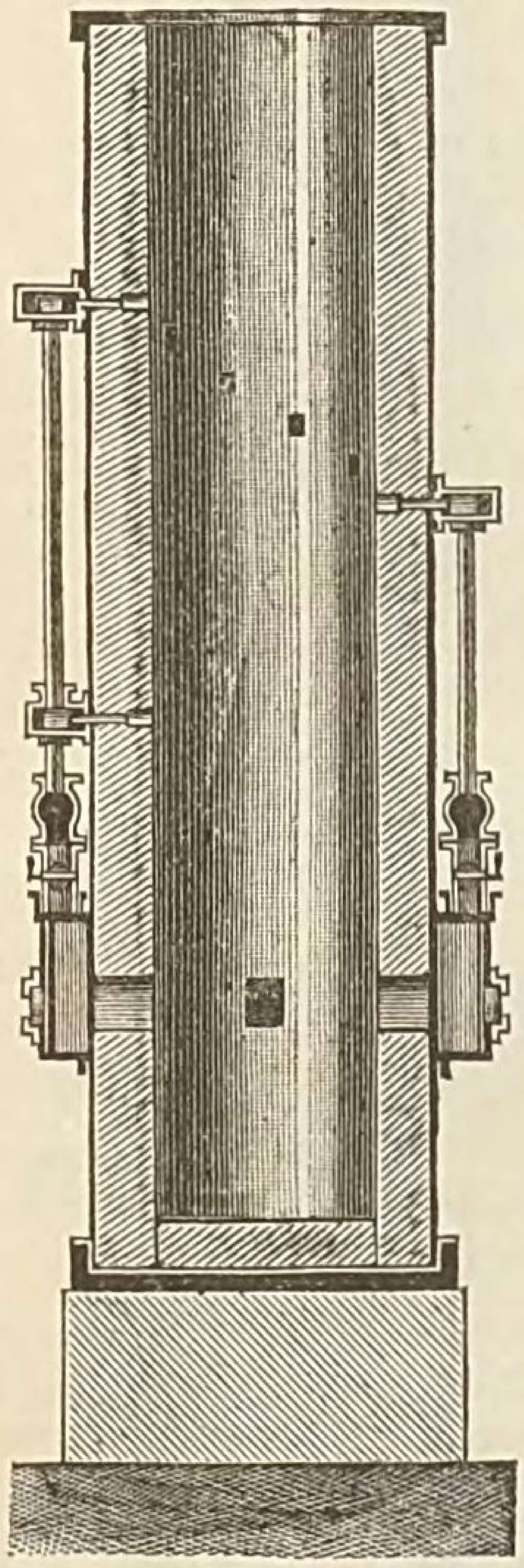
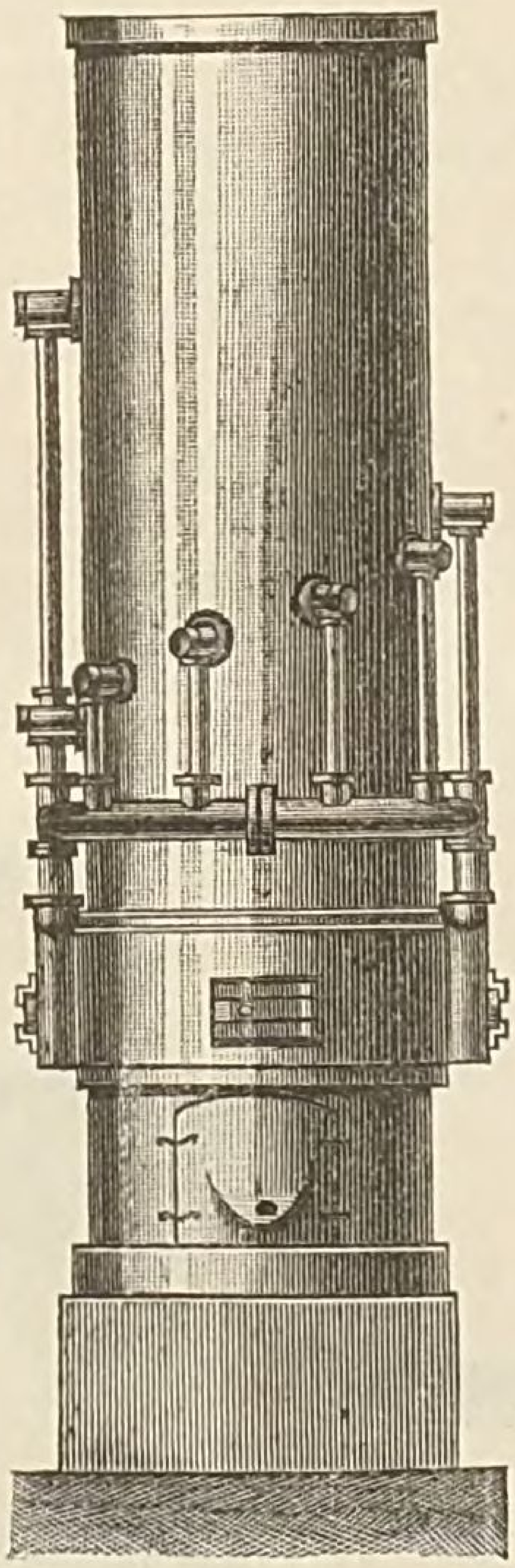


Fig. 176.



Als letztes Beispiel neuerer Kupolöfen möge der in Fig. 175 und 176 dargestellte Ofen von Greiner und Erpf dienen. Der Einrichtung dieses Ofens liegt die Absicht zu Grunde, das vor den unteren Formen gebildete Kohlenoxydgas durch Zuführung einer beschränkten und genau zu regelnden Luftmenge an verschiedenen Stellen noch zu verbrennen. Zu diesem Zwecke ist eine zweite Reihe enger Formen angeordnet, welche aber nicht, wie bei dem oben beschriebenen Irelandofen in einer wagerechten Ebene liegen, sondern in einer steil ansteigenden Schraubenlinie vertheilt sind. Man ermöglicht es auf diese Weise, eine grössere Zahl Formen als bei dem Irelandofen anzubringen, und man beabsichtigt, durch diese reichlichere Vertheilung eine beträchtliche Temperatursteigerung zu vermeiden, welche zur Folge haben würde, dass die gebildete Kohlensäure durch die Berührung mit den Kohlen auf's Neue sich in Kohlenoxyd umwandelt. Jede einzelne Windform der oberen Reihe lässt sich verschliessen, so dass man durch einen Versuch zunächst feststellen kann, in welcher Höhe über den Formen Wind zugeleitet werden darf, ohne dass ein Erglühen der Koks eintritt, während ein blaues Flämmchen anzeigt, dass in der That Kohlenoxydgas verbrennt.

1) Abbildungen eines in den letztverflossenen Jahren erbauten Krigar-Kupolofens: Ledebur, Eisen- und Stahlgiesserei, 2. Auflage, Fig. 27 bis 32.

Die untere Formenreihe erhält ihren Wind, wie bei vielen anderen Kupolöfen, von einem ringsherum laufenden Vertheilungskanale aus, die obere Formenreihe durch senkrechte Düsenrohre, welche von einem gemeinschaftlichen Ringrohre ausgehen, und deren jedes mit einer Drosselklappe versehen ist, damit man für jede einzelne Form die Windmenge genau regeln kann.

Der Ofen liefert bei sorgfältiger Beaufsichtigung der einzelnen Windformen recht gute Ergebnisse. Verabsäumt man aber diese Beaufsichtigung, so kann es geschehen, dass entweder ein Erglühen der Koks in dem obern Theile des Ofens eintritt, also auf's Neue Kohlenoxyd gebildet wird, oder dass Luft an Stellen zugeführt wird, wo das Kohlenoxydgas bereits allzu verdünnt und die Temperatur allzu niedrig ist, als dass überhaupt noch ein Verbrennen möglich wäre. Das Gebläse gebraucht in diesem Falle Arbeit zur Beschaffung der Luft, ohne dass ein Nutzen erzielt würde.

c) Das Schmelzen und die Betriebsergebnisse.

Als Brennstoffe dienen, wie oben erläutert wurde, Koks. Holzkohlen kommen nur in Ländern zur Verwendung, wo die Beschaffung geeigneter Schmelzkoks mit unverhältnissmässig grossen Schwierigkeiten und Kosten verknüpft sein würde. Man gebraucht zum Schmelzen der gleichen Menge Roheisen doppelt bis dreimal so viel Holzkohlen als Koks.

Das Arbeitsverfahren ist ziemlich einfach.

Nachdem der Schacht und Herd vorgerichtet worden sind, entzündet man auf dem Boden des Herdes ein Feuer aus Holz, Torf oder dergleichen, schüttet dann allmählich Koks in die Gluth, damit auch diese sich entzünden, und füllt nun den Ofen bis etwa zur Hälfte seiner Höhe mit Koks. Den Koks setzt man eine zur Verschlackung ihres Aschengehaltes und insbesondere zur Bindung des Schwefelgehaltes ausreichende Menge Kalkstein zu. Auf je 1 Gewichtstheil Asche kann man 1 1/2 bis 2 Gewichtstheile Kalkstein rechnen; bei Verwendung von Koks mit 10 Hunderttheilen Asche würden also auf je 100 Theile Koks 15 bis 20 Gewichtstheile Kalkstein zuzuschlagen sein. Eine etwas reichliche Bemessung des Kalksteinzuschlages schadet nicht. Versäumt man, schon den Füllkoks Kalkstein zuzuschlagen, so ist das zuerst im Herde ankommende Roheisen, welches zwischen den Koks hindurch seinen Weg nimmt, fast immer schwefelreich und deshalb dickflüssig, weiss, hart.

Durch das noch offene Stichloch, sowie durch etwa offen gelassene Schauöffnungen lässt man inzwischen Luft zuströmen, um das Feuer zu unterhalten. Sind die Koks vor den Windöffnungen in volle Gluth gekommen, so kann der Ofen mit abwechselnden Gichten von Koks und Roheisen vollständig gefüllt und dann das Gebläse angelassen werden. Jeder Koksgicht wird wieder ein entsprechender Zuschlag von Kalkstein gegeben. Man bläst sogleich mit voller Spannung. Das Stichloch bleibt vorläufig noch geöffnet, damit ein Theil der Gase hier entweiche und den Herd gut anwärme. Damit dieses Ziel erreicht und das zuerst ankommende Roheisen nicht etwa durch die

Berührung mit den kälteren Herdwänden abgekühlt werde, darf der Durchmesser des Stichloches nicht zu eng sein. Mitunter hat man es sogar zweckmässig gefunden, zur Erzielung einer starken Vorwärmung des Herdes an seinem Umfange mehrere Austrittsöffnungen für die Gase anzubringen. Wenn das Roheisen anfängt auszufliessen, werden das Stichloch und die etwa sonst noch angebrachten Oeffnungen durch Thonpfropfen geschlossen, und das Schmelzen nimmt nun ununterbrochen seinen Fortgang, indem man von Zeit zu Zeit das geschmolzene Roheisen nebst der angesammelten Schlacke durch Oeffnen des Stichloches entfernt.

Das Verhältniss zwischen der Grösse der Roheisen- und Koksgichten richtet sich nach der Beschaffenheit der Koks, der Einrichtung des Ofens, der Windführung und der Ueberhitzung, welche das geschmolzene Roheisen erhalten soll. In den günstigsten Fällen kann man 20 Gewichtstheile Roheisen mit 1 Gewichtstheil Koks schmelzen; häufiger beträgt der Roheisensatz nur das 10—15fache vom Gewichte der Koks; dauert das Schmelzen längere Zeit (in Bessemerhütten), so pflegt jenes Verhältniss ungünstiger zu sein als bei einem Schmelzen von wenigen Stunden, wo die von den Füllkoks beim Beginne des Schmelzens entwickelte reichliche Wärmemenge eine anfängliche starke Erhitzung des ganzen Ofens herbeiführt, die alsdann auch dem schmelzenden Roheisen zu Gute kommt. Fehlerhaft würde es deshalb sein, wenn man etwa, wie beim Anblasen eines Hochofens, mit schwächeren Roheisengichten beginnen und später den Satz steigern wollte.

Die zweckmässigste Grösse jeder einzelnen Koksgicht hängt vom Gichtdurchmesser ab. Als passendes Verhältniss kann man für je 1 qm Gichtquerschnitt einen einmaligen Kokssatz von 80 kg rechnen und den Roheisensatz den oben besprochenen Verhältnissen entsprechend bemessen. Die Erfahrung muss schliesslich für die zulässige Höhe des Roheisensatzes den Ausschlag geben.

Mit dem Aufgichten von Koks, Roheisen und Kalkstein wird so lange fortgefahren, als das Schmelzen währen soll. Alsdann bläst man nieder, öffnet, wenn alles Roheisen geschmolzen ist, den Ofen, räumt die noch rückständigen Koks (welche, nachdem sie mit Wasser gelöscht wurden, zum Füllen wieder benutzt werden können) aus und lässt den Ofen erkalten, um am folgenden Tage das Schachtfutter, die Herdsohle u. s. w. einer Ausbesserung zu unterziehen.

Kupolöfen mittlerer Grösse pflegen, den oben mitgetheilten Verhältnisszahlen entsprechend, stündlich 4 bis 6 t Roheisen zu schmelzen, wobei der Brenstoffverbrauch einschliesslich der benutzten Füllkoks gewöhnlich 70 bis 150 kg für eine Tonne geschmolzenes Roheisen beträgt. Kupolöfen für Giessereien pflegen nur stundenweise täglich in Benutzung genommen zu werden; Kupolöfen für Bessemer- und Thomashütten werden gewöhnlich mehrere Tage hindurch in ununterbrochenem Betriebe erhalten, bis eine Ausbesserung des Ofenfutters sich erforderlich macht.

Durch Oxydation und mechanische Verluste entsteht eine Verminderung des Roheisengewichtes (Abbrand), welche gewöhnlich 3 bis 6 Hunderttheile vom Roheisengewichte beträgt.

Vergleicht man die mitgetheilten Betriebsergebnisse des Kupol-

ofenschmelzens mit denen des Flammofenschmelzens, so ergiebt sich zunächst, dass die Wärmeausnutzung im Kupolofen bedeutend günstiger ist, wie es seine Eigenschaft als Schachtofen mit sich bringt (Seite 127 und 157). Der Kupolofen ist aber auch bequemer für die Benutzung, da man nach Belieben grössere oder kleinere Mengen Roheisen in ihm schmelzen und in jedem Augenblicke ihm geschmolzenes Metall entnehmen kann; und endlich ist die chemische Beeinflussung, welche das schmelzende Roheisen erfährt, im Kupolofen durchschnittlich weniger erheblich als im Flammofen, wie sogleich eingehender erörtert werden soll.

Daher bildet die Benutzung des Kupolofens zum Umschmelzen von Roheisen die Regel, die Benutzung eines Tiegel- oder Flammofens eine Ausnahme, welche allerdings nicht ganz selten ist und durch besondere, oben angedeutete Umstände ihre Berechtigung erhalten kann.

d) Der chemische Verlauf des Kupolofenschmelzens.

Wenn man zur Ersparung an Brennstoff beim Kupolofenschmelzen die Verbrennung so zu leiten sucht, dass das Verhältniss des entstehenden Kohlenoxydes zur Kohlensäure möglichst gering ausfalle, so erzeugt man doch hierbei einen Gasstrom, welcher kräftig oxydirend auf das schmelzende Roheisen einwirken muss. Der Einfluss war unerheblich in den Kupolöfen der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts, welche mit reichlichem Brennstoffaufwande schmolzen und ein kohlenoxydreiches Gasgemenge erzeugten; er wuchs, je mehr man lernte, durch die oben besprochenen Mittel den Brennstoffverbrauch zu verringern.

Die Aenderungen, welche das Roheisen beim Kupolofenschmelzen erfährt, sind denen, welche das Flammofenschmelzen bewirkt, ähnlich; aber ihr Maass ist auch in einem mit sehr geringem Brennstoffaufwande schmelzenden Kupolofen durchschnittlich geringer. Während das Metall im Flammofen stundenlang der Einwirkung der heissen Verbrennungsgase preisgegeben ist, schmilzt es im Kupolofen meistens in längstens 30 Minuten, sickert zwischen den glühenden Koksstücken hindurch, welche ihm immerhin einen gewissen Schutz bieten, und sammelt sich unterhalb des Verbrennungsraumes, durch die reichlich gebildete Schlacke vor weiterer Verbrennung nunmehr völlig gesichert.

Wie beim Flammofenschmelzen wird ein Theil des in reichem Ueberschusse anwesenden Eisens und neben diesem vorwiegend Mangan und Silicium verbrannt.

Die Verbrennung des Mangans wird auch hier durch die Berührung mit den kieselsäurereichen Ofenwänden befördert. Ein mässiger Mangangehalt vermag daher, indem er selbst der Verbrennung sich aussetzt, das Silicium vor Verbrennung zu schützen, und bei sehr hohem Mangangehalte und niedrigem Siliciumgehalte kann sogar der Fall eintreten, dass noch Silicium aus den Ofenwänden durch Mangan reducirt wird.

So z. B. fand E. v. Köppen beim einmaligen Umschmelzen verschiedener manganreicher Roheisensorten im Kupolofen nachstehende Aenderungen der chemischen Zusammensetzung [1]):

1) Dinglers polyt. Journal, Band CCXXXII, Seite 53.

	Vor			Nach		
	dem Umschmelzen					
	Mn	C	Si	Mn	C	Si
Spiegeleisen	14,81	3,98	0,14	8,91	4,13	0,50
desgl.	14,25	4,40	0,12	10,52	4,62	0,49
desgl.	14,98	4,48	0,12	11,06	4,60	0,42
desgl.	16,24	4,62	0,40	10,98	4,96	0,66
desgl.	14,93	3,63	0,33	12,03	3,67	0,41
Graues Bessemerroheisen	3,67	4,58	2,27	2,58	4,67	2,44

In allen Fällen fand hier neben starkem Manganverluste eine Zunahme des Silicium- und auch Kohlenstoffgehaltes statt, welche sich zwar theils aus der Verringerung der Gesammtmenge des Roheisens, theils aber auch aus der stattgehabten Siliciumreduction durch Mangan erklärt.

Beim Verschmelzen weniger manganreichen Roheisens als bei den vorstehend erwähnten Versuchen pflegt, wenn man das Verhalten verschiedener Roheisensorten mit einander vergleicht, doch auch insofern der Einfluss des Mangans erkennbar zu sein, als das manganreichere Roheisen weniger Silicium als das manganärmere verliert.

In Gutehoffnungshütte wurden durch Scheffer in einem kleinen Kupolofen mit gewöhnlichem kieselsäurereichen Futter drei verschiedene Sorten grauen Roheisens eine jede einem viermaligen Umschmelzen unterzogen, und nach jedem Umschmelzen wurde von mir die Zusammensetzung des Roheisens ermittelt. Die Zusammensetzung vor dem ersten und nach dem vierten Umschmelzen war folgende[1]:

Name des Roheisen	Vor					Nach				
	dem Umschmelzen									
	C	Si	Mn	Cu	P	C	Si	Mn	Cu	P
Coltness I	4,06	2,52	1,27	0,05	0,73	3,49	2,08	0,46	0,06	0,87
Gutehoffnungshütte I .	4,15	2,05	0,77	0,06	0,61	3,46	1,55	0,12	0,05	0,72
Gleiwitz	4,17	1,52	2,08	0,07	0,33	3,68	1,33	0,73	0,07	0,47

Das manganreichste Roheisen verliert auch die grösste Menge Mangan; aber je mehr Mangan austritt, desto unbedeutender ist die Beeinflussung des Siliciumgehaltes. Das manganarme Roheisen von Gutehoffnungshütte verliert 0,50 Hunderttheile Silicium, während das manganreiche Gleiwitzer Roheisen nur 0,19 Hunderttheile einbüsst. Bezieht man die Verringerung des Siliciumgehaltes auf dessen ursprünglichen Betrag, so findet man, dass von diesem

bei Gutehoffnungshütte	Coltness	Gleiwitz
24,6 Hunderttheile	17,6 Hunderttheile	12,7 Hunderttheile

austraten. Es folgt hieraus, dass, obgleich ein Mangangehalt an und für sich dem Roheisen die Neigung ertheilt, weiss, hart zu werden, doch ein graues Roheisen ein um so öfteres Umschmelzen in Oefen

1) Die Zusammenstellung der Ergebnisse sämmtlicher Untersuchungen (auch nach dem ersten, zweiten und dritten Umschmelzen) findet der Leser im Jahrbuche für Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen auf das Jahr 1880, Seite 5.

mit kieselsäurereichem Futter erträgt, ohne infolge des Siliciumverlustes weiss zu werden, je reicher es ursprünglich an Mangan war.

Dass durch reichlichen Kalkzuschlag die Neigung des Mangans, zu verbrennen, abgemindert, die des Siliciums gesteigert werden kann, lässt sich annehmen, ohne dass bis jetzt vergleichende Versuche darüber vorlägen.

Falls diese eintretende Abnahme des Mangangehaltes und Siliciumgehaltes beim Kupolofenschmelzen die Verwendbarkeit des Roheisens für diesen oder jenen Zweck beeinträchtigen sollte, lässt sich Ausgleich schaffen, indem man ein von vornherein mangan- oder siliciumreicheres Roheisen zum Umschmelzen verwendet. Von diesem einfachen Mittel wird z. B. in den Eisengiessereien täglich ein ausgiebiger Gebrauch gemacht. Für die meisten Gusswaaren ist ein mässig graphitreiches und deshalb durch schneidende Werkzeuge (Meissel, Drehstahl u. s. w.) leicht bearbeitbares Roheisen erforderlich. Da der Graphitgehalt nur bei einem gewissen Siliciumgehalte bestehen kann, dieser aber beim Umschmelzen sich zu verringern pflegt, wird das Roheisen beim Umschmelzen auch graphitärmer, und ein Material, welches an und für sich gut brauchbar für einen bestimmten Zweck wäre, würde an Brauchbarkeit verlieren, wenn es zuvor umgeschmolzen werden müsste. Ein mehrmals wiederholtes Umschmelzen würde schliesslich eine Umwandlung des grauen Roheisens in siliciumarmes, weisses Eisen herbeiführen. Man schmelzt also ein an Silicium um so viel reicheres Roheisen ein, als dem Siliciumverluste beim Umschmelzen entspricht. Nun aber ist man vielfach gezwungen, auch ein siliciumärmeres Material, insbesondere ein schon umgeschmolzenes Roheisen — Abfälle in der Giesserei, Ausschussstücke und dergleichen — mit aufzuarbeiten, und gerade für diesen Fall gelangt der Werth jenes früher besprochenen silicium- und graphitreichen Roheisens, welches im Handel als Nr. I bezeichnet zu werden pflegt, zur Geltung, durch dessen Zusatz der fehlende Siliciumgehalt wieder gedeckt wird, und welches deshalb ein unentbehrliches Material in allen den Eisengiessereien bildet, wo man das Roheisen in eigenen Schmelzöfen umschmelzt. Dass auch durch Zusatz einer geringeren Menge Siliciumeisen sich der gleiche Zweck erreichen lässt, ist selbstverständlich; aber die Anwendung dieses Mittels pflegt kostspieliger zu sein.

Ebenso wie in der Giesserei verfährt man beim Umschmelzen des Roheisens für andere Verfahren, bei denen ein bestimmter Siliciumgehalt des geschmolzenen Materiales erforderlich ist (Bessemern).

Der K o h l e n s t o f f g e h a l t des Roheisens pflegt beim Umschmelzen keinen sehr erheblichen Veränderungen zu unterliegen. Er kann sich verringern, wenn er ursprünglich verhältnissmässig hoch und das Roheisen manganarm war; und er kann durch Aufnahme aus den weissglühenden Brennstoffen, über welche das Roheisen hinwegrieselt, eine Anreicherung erfahren, wenn das Roheisen noch nicht den seinem Sättigungsvermögen entsprechenden Kohlenstoffgehalt besass und das Schmelzen mit einem verhältnissmässig reichlichen Aufwande von Brennstoff stattfand. Ein hoher Mangangehalt schützt auch den Kohlenstoffgehalt vor dem Verbrennen. Aus diesen Gründen ist bei K ö p p e n s oben mitgetheilten Versuchen der Kohlenstoffgehalt nach dem Um-

schmelzen (bei welchem die Gesammtmenge des Metalles, in welchem der Kohlenstoff enthalten ist, sich verringert) durchgängig etwas höher, bei Scheffers Versuchen dagegen niedriger geworden. Jüngst fand nach sechsmaligem Umschmelzen eines Roheisens, dessen Kohlenstoffgehalt nur 3,10 Hunderttheile betrug, also ziemlich niedrig war, eine stattgehabte Anreicherung auf 3,34 Hunderttheile, während der Mangangehalt von 2,00 auf 0,36, der Siliciumgehalt von 2,30 auf 1,16 Hunderttheile gesunken war.[1]) Je tiefer der Kohlenstoffgehalt des Roheisens vor dem Umschmelzen unter dem Sättigungspunkte liegt, desto leichter findet eine Kohlenstoffaufnahme durch die Berührung mit den glühenden Kohlen statt, auch wenn die Oxydationswirkung des Ofens so kräftig sein sollte, dass von dem Mangan- und Siliciumgehalte ein reichlicher Theil austritt.

Aus diesem Grunde ist es auch unmöglich, schmiedbares Eisen im Kupolofen zu schmelzen, ohne dass dieses sich durch Aufnahme reichlicher Mengen Kohlenstoff in Roheisen umwandelt. Stahlabfälle, welche zur Erzeugung des in der dritten Abtheilung besprochenen Temperstahlgusses im Kupolofen geschmolzen waren, enthielten nach öfteren von mir angestellten Untersuchungen nach dem Schmelzen nie weniger als 2,9, häufig mehr als 3,3 Hunderttheile Kohlenstoff.

Der Phosphorgehalt des Roheisens verringert sich beim Kupolofenschmelzen ebenso wenig als im Flammofen; da aber die Menge des Roheisens, in welchem er vertheilt ist, durch Verbrennen von Eisen, Mangan und Silicium beim Schmelzen abnimmt, erscheint der Phosphorgehalt nach dem Schmelzen meistens in höherer Ziffer als zuvor. Scheffers oben mitgetheilte Versuche können auch hierfür als Beispiele dienen.

Wie der Phosphor verhalten sich Kupfer, Nickel, Kobalt.

Der Schwefelgehalt kann beim Kupolofenschmelzen eine nicht unerhebliche Anreicherung erfahren, sofern man versäumt, einen dem Schwefelgehalte der Koks entsprechenden Kalksteinzuschlag zu geben. Je manganärmer das Roheisen ist, desto leichter findet eine solche Schwefelaufnahme statt. Bei Jüngsts oben erwähnten Versuchen blieb der ursprüngliche Schwefelgehalt (0,06 Hunderttheile) bei den ersten drei Umschmelzen annähernd unverändert, stieg nach dem vierten Umschmelzen auf 0,10 und nach dem sechsten Umschmelzen auf 0,20 Hunderttheile. Eine derartige Zunahme würde für alle Verwendungen des Roheisens von merkbarem Nachtheile sein.

Aus den verbrannten Bestandtheilen des Roheisens, den aufgelösten Bestandtheilen des Ofenfutters und dem zugesetzten Kalk entsteht eine Schlacke, deren Zusammensetzung ziemlich abweichend sein kann, je nachdem man viel oder wenig Kalkstein zuschlug, viel oder wenig Brennstoff gebrauchte, ein manganreicheres oder manganärmeres Roheisen verschmolz. Je höher der Mangangehalt war, desto mehr bleibt das Eisen vor der Verbrennung geschützt, desto eisenärmer fällt die Schlacke aus. Einige Beispiele der Zusammensetzung von Kupolofenschlacken mögen als Erläuterung hierfür dienen.

1) Schmelzversuche mit Ferrosilicium, Seite 98.

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Kieselsäure	60,05	56,04	55,01	50,48	46,70	37,05
Thonerde	18,00	11,55	11,61	10,68	9,30	11,08
Eisenoxydul	4,61	15,34	14,91	20,98	7,36	1,59
Manganoxydul	8,29	4,02	1,06	4,01	2,79	14,09
Kalkerde	6,29	9,74	15,05	9,85	31,44	29,64
Magnesia	0,25	0,51	0,49	0,84	0,15	0,79
Kaliumoxyd	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	0,72	n. best.
Calcium	0,41	0,21	0,28	0,22	0,50	1,98
Schwefel	0,33	0,17	0,22	0,18	0,40	1,58
Phosphorsäure	—	—	—	—	—	0,10

Nr. 1 ist eine Kupolofenschlacke aus früherer Zeit, als „gare“ Kupolofenschlacke bezeichnet; von mir untersucht. Sie ist jedenfalls bei dem Betriebe mit Holzkohlen und bei hohem Brennstoffaufwande — also in kohlenoxydreichem Gasstrome — auch bei nur geringem Kalksteinzuschlage erfolgt. — Nr. 2, 3 und 4 sind Schlacken aus hannoverschen Eisengiessereien, von Fischer untersucht.[1] — Nr. 5 ist die Schlacke eines versuchsweise mit Zusatz von rohen Steinkohlenund reichlichem Kalksteinzuschlage betriebenen Krigar schen Kupolofens; von mir untersucht. — Nr. 6 ist die Schlacke eines Kupolofens, welcher weisses Roheisen für das Thomasverfahren einschmolz; von mir untersucht.

Die kalk- und manganreichste Schlacke (Nr. 6) ist hier auch die schwefelreichste. Thatsächlich ist in diesem Falle nicht allein der Schwefelgehalt der Koks von der Schlacke aufgenommen worden, sondern auch der Schwefelgehalt des Roheisens hat sich verringert. Er besass vor dem Schmelzen das ungewöhnlich hohe Maass von 0,42 Hunderttheilen, nach dem Schmelzen nur noch von 0,09 Hunderttheilen.

Die beim Kupolofenschmelzen erzielte Ausnutzung des Brennstoffs spiegelt sich in der Zusammensetzung der Gichtgase. Je mehr Kohlensäure und je weniger Kohlenoxyd sie enthalten, desto mehr Wärme wurde durch die gleiche Brennstoffmenge entwickelt.

Beispiele der Zusammensetzung:

	Stickstoff	Kohlensäure	Kohlenoxydgas	Sauerstoff
	Raumtheile			
Gase aus älteren Kupolöfen (1844); nach Ebelmen[2])	73,36	11,65	14,16	—
Wie vorstehend	73,96	11,60	13,56	—
Gase eines Krigarofens; Mittelwerthe aus 20 Untersuchungen. Nach Fischer[3])	79,7	16,4	3,9	—
Gase eines anderen Krigarofens, Mittelwerthe aus 6 Untersuchungen. Nach Fischer[3])	81,6	13,3	5,1	—
Gase eines neueren Kupolofens, Mittelwerth aus 7				—
Untersuchungen. Nach Fischer[3])	79,5	13,1	7,4	
Wie vorstehend. Mittelwerthe aus 15 Untersuchungen.				—
Nach Fischer[3])	78,5	15,1	6,4	—
Gase eines Irelandofens. Nach Beckert[4]) .	n. best.	13,8	4,0	—
Wie vorstehend	„	12,5	11,7	—
Wie vorstehend	„	15,0	8,0	—
Gase eines Kupolofens von Greiner & Erpf[5]) .	79,9	18,7		
Gase eines Saugkupolofens von Herbertz. Nach			1,2	—
Beckert[4])	n. best.	10,7	—	6,7
Wie vorstehend	„	11,5	3,4	8,2

1) Dinglers polyt. Journal, Band CCXXXI, Seite 38.
2) Annales des mines, série 4, tome V, p. 61.
3) Dinglers polyt. Journal, Band CCXXXI, Seite 38.
4) „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 557.
5) Journal of the Iron and Steel Institute 1888, II, p. 247.

In dem Ofen von Greiner & Erpf und in dem Herbertzofen hat demnach die vollständigste Verbrennung stattgefunden; in dem letzteren freilich unter Zuführung eines verhältnissmässig reichlichen Luftüberschusses.

2. Die Reinigung des Roheisens.

A. Allgemeines.

Wenn das Roheisen Fremdkörper enthält, welche bei der in's Auge gefassten Verarbeitung des Roheisens nachtheilige Einflüsse auszuüben vermögen, kann eine jener Verarbeitung vorausgehende Behandlung des Roheisens, durch welche die betreffenden Fremdkörper ganz oder theilweise ausgeschieden werden, von Nutzen sein. Dieses Reinigungsverfahren nennt man Feinen oder Läutern des Roheisens. Es kommt vorzugsweise bei solchem Roheisen zur Anwendung, welches für die Verarbeitung zu schmiedbarem Eisen, insbesondere Schweisseisen, bestimmt ist.

Die Körper, welche sich ganz oder theilweise ausscheiden lassen, ohne dass auch der Kohlenstoffgehalt austritt[1]), sind vornehmlich Silicium, Mangan, Phosphor, Schwefel. Nicht ausscheidbar sind Kupfer, Nickel, Kobalt, Arsen, Antimon, wie früher besprochen wurde.

B. Die Ausscheidung des Siliciums und Mangans.

Beim Flammofen- und Kupolofenschmelzen findet, wie oben besprochen wurde, eine theilweise Ausscheidung von Silicium und Mangan statt; durch Verstärkung der Oxydationswirkung, also durch Einleiten von Luft oder durch Zusatz sauerstoffabgebender Körper, z. B. Eisenoxyd, lässt sich eine vollständigere Ausscheidung erzielen.

Der eigentliche Zweck des Verfahrens pflegt die Ausscheidung des Siliciums zu sein; diese aber lässt sich nicht bewirken, ohne dass auch die grösste Menge des Mangans mit oxydirt wird, und wie beim gewöhnlichen Schmelzen im Flamm- oder Kupolofen geht unvermeidlicher Weise auch eine gewisse Menge des Eisens mit in die Schlacke.

In früherer Zeit, als graues Roheisen für die Giesserei das Haupterzeugniss fast aller Hochöfen bildete und man nur das für die Giesserei entbehrliche Roheisen auf schmiedbares Eisen zu verarbeiten pflegte, spielte das Feinen des grauen Roheisens eine nicht unwichtige Rolle.[2]) Indem man es seines Siliciumgehaltes (und Mangangehaltes, falls solcher zugegen war) beraubte, das graue Roheisen in weisses Roheisen

1) Eine Ausscheidung des Kohlenstoffgehaltes würde gleichbedeutend sein mit einer Darstellung schmiedbaren Eisens aus Roheisen. Das Verfahren würde zu den Frischverfahren gehören, welche in der dritten Abtheilung der Eisenhüttenkunde Besprechung finden.

2) Der Ausdruck „Feinen" ist hier im engeren Sinne: Ausscheidung des Siliciums, gebraucht, wie es früher üblich war, bevor man auch Phosphor und Schwefel auszuscheiden gelernt hatte.

umwandelte, kürzte man den Verlauf des späteren Frischverfahrens, die Ausscheidung des Kohlenstoffs, ab; der Frischofen wurde stärker ausgenutzt, seine Leistung vergrössert. Seitdem aber der Bedarf an schmiedbarem Eisen und somit auch an weissem Roheisen gegen früher erheblich gestiegen ist, und seitdem man gelernt hat, mit grösserer Sicherheit als früher Roheisen von bestimmter Beschaffenheit im Hochofen zu erzeugen, hat auch das Feinen seine frühere Bedeutung verloren. Denn die Erzeugung eines siliciumarmen Weisseisens im Hochofen ist nach Früherem billiger als die Erzeugung von Graueisen; es würde widersinnig sein, zuerst Graueisen darzustellen, um es durch ein späteres Verfahren in Weisseisen umzuwandeln. Nur in Gegenden, wo besondere Verhältnisse, z. B. ein hoher Thonerdegehalt und geringer Mangangehalt der Erze, die Erzeugung eines siliciumarmen Weisseisens erschweren, findet man hier und da noch die alten Verfahren in Anwendung (Oberschlesien).

Im Hochofen selbst bewirkt man mitunter das Feinen, indem man durch eine abwärts gerichtete Düse Wind auf die Oberfläche des im Herde stehenden Roheisens bläst. Das Verfahren ist beendet, wenn das Eisen anfängt, Funken zu werfen, ein Zeichen der eintretenden Verbrennung von Kohle. Oder man lässt durch die Formen feingepulverte Eisenerze, eisenoxydreiche Frischschlacke oder dergleichen, vom Winde in den Ofen blasen, ein Verfahren, welches man Futtern des Hochofens nennt und welches einen mehrtägigen Rohgang nach sich zu ziehen pflegt. Bei Holzkohlenhochöfen, welche unmittelbar für die Giesserei betrieben werden, verfährt man mitunter in der beschriebenen Weise, wenn das erblasene Roheisen zu siliciumreich ausgefallen ist und daher beim Erstarren allzu reichliche Mengen Graphit aussondert.

In Oberschlesien bediente man sich in den vierziger Jahren eines mit Gas geheizten Flammofens, auf dessen Herde das Roheisen geschmolzen und durch darüber geleiteten Gebläsewind gefeint wurde. Der Ofen, unter dem Namen Eck'scher Feinofen, wurde ausführlich in Zeitschriften und metallurgischen Handbüchern besprochen.[1]) Noch jetzt findet sich auf einem oberschlesischem Eisenwerke ein derartiger, für Nebenzwecke dienender Feinofen als Ueberbleibsel aus verflossenen Jahrzehnten.

In anderen Fällen benutzt man ein niedriges, von gekühlten Gusseisenplatten eingeschlossenes Feuer zum Feinen[2]), in welchem das Roheisen unter hohem Koksverbrauche zwischen zwei einander gegenüberliegenden, abwärts gerichteten Düsen niedergeschmolzen wird. Durch Zusatz eisenreicher Schlacken beim Schmelzen wird die Verbrennung des Siliciums befördert.

Auch diese Feinfeuer sind auf einigen Eisenwerken Oberschlesiens noch anzutreffen. Man gebraucht zum Schmelzen und Feinen von

1) Z. B. Karstens Archiv für Mineralogie 1843, Seite 795; Berg- und hüttenmännische Zeitung 1843, Seite 611; 1846, Seite 833. Auch Wedding, Darstellung des schmiedbaren Eisens, Seite 35.

2) Unter der Bezeichnung „englisches Feinfeuer“ in zahlreichen Werken über Eisenhüttenkunde besprochen, z. B. Kerl, Grundriss der Eisenhüttenkunde, Seite 282; Wedding, Darstellung des schmiedbaren Eisens, Seite 28.

1000 kg Roheisen etwa 300 kg Koks und hat einen Abbrand von etwa 10 Hunderttheilen des Roheisengewichtes. Das Verfahren ist demnach ziemlich kostspielig.

Gefeintes Roheisen besitzt weisse Farbe und ein feinkörniges, dem des grellen Roheisens ähnliches Gefüge. Sein Kohlenstoffgehalt pflegt 3 bis 3,5 Hunderttheile, sein Siliciumgehalt wie sein Mangangehalt nicht über 0,2 Hunderttheile zu betragen.

Die miterfolgende Schlacke ist reich an Eisenoxydul; übrigens enthält sie Manganoxydul, Kieselsäure (zum grossen Theil aus dem Boden des Feinofens oder Feuers aufgelöst) und sonstige Nebenbestandtheile; z. B.:

	1.	2.
Kieselsäure	25,77	36,80
Eisenoxydul	65,52	43,93
Manganoxydul	1,57	7,23
Thonerde	3,60	4,12
Kalkerde	0,45	4,51
Magnesia	1,28	1,16
Phosphorsäure	3,00	0,42

1. Englische Feinfeuerschlacke; nach Percy (Wedding, Darstellung des schmiedbaren Eisens, Seite 33).

2. Feinfeuerschlacke aus Laurahütte; vom Verfasser untersucht.

C. Die Entphosphorung des Roheisens.

Bei den Verfahren der Schweisseisendarstellung aus Roheisen ist es zwar möglich, einen Theil von dessen Phosphorgehalt abzuscheiden, aber im Allgemeinen bleibt das Enderzeugniss um so phosphorreicher, je höher der Phosphorgehalt des verwendeten Roheisens ist; bei den bis zum Jahre 1879 angewendeten Verfahren der Flusseisenerzeugung gelang eine Phosphorabscheidung überhaupt nicht.

Seitdem man die nachtheiligen Einflüsse, welche ein Phosphorgehalt auf das Verhalten des schmiedbaren Eisens ausübt, erkannt hatte, ist man daher bemüht gewesen, durch ein Vorbereitungsverfahren dem Roheisen seinen Phosphorgehalt ganz oder theilweise zu entziehen.

Eine Abscheidung des Phosphors vor dem Kohlenstoff ist möglich, wenn das geschmolzene Roheisen in einer seine Schmelztemperatur nicht erheblich übersteigenden Temperatur oxydirenden Einflüssen bei Anwesenheit stark basischer Schlacken ausgesetzt wird (Seite 289). Mit dem Phosphor aber scheidet regelmässig alles Silicium und der grösste Theil des Mangans aus. Als Oxydationsmittel dienen am zweckmässigsten Eisenoxyde (Erze, Hammerschlag, eisenreiche Schlacken), weil diese zugleich die Bildung basischer und doch ausreichend schmelzbarer Schlacken ermöglichen.

In Berührung mit einem kieselsäurereichen Ofenfutter, aus welchem durch basische Körper stets Kieselsäure aufgelöst wird, kann eine ausreichend basische Schlacke nicht entstehen. Das Gefäss oder der Ofen, in welchem die Entphosphorung vor sich geht, darf daher nicht mit kieselsäurereichen Ofenbaumaterialien (Schamotte) ausgekleidet sein.

Die Nichtbeachtung dieser Thatsache hat früher zu zahlreichen Misserfolgen geführt. Jene auf S. 627 erwähnten Flammöfen zum Feinen

des Roheisens wurden in der Hoffnung gebaut, dass in dem oxydirenden Gasstrome auch eine Entphosphorung des Roheisens stattfinden werde; der Erfolg war, dass der Phosphorgehalt eines Roheisens sich beim Schmelzen wegen des stattfindenden Abbrandes von 0,49 auf 0,57 Hunderttheile erhöhte. Etwas günstiger sind die Verhältnisse im Feinfeuer, dessen Seitenwände aus gekühlten Gusseisenplatten bestehen, so dass nur der aus Sand oder Masse gefertigte Boden Kieselsäure abgiebt. Die oben mitgetheilten Schlackenanalysen zeigen, dass wenigstens eine beschränkte Menge Phosphor in die Schlacke geführt werden kann, um so mehr, je basischer diese ist.

Dem Engländer L. Bell gebührt vornehmlich das Verdienst, durch zahlreiche Versuche[1]) die für die Phosphorabscheidung aus Roheisen zu erfüllenden, oben aufgeführten Bedingungen genauer erforscht zu haben. Im Laufe der siebziger Jahre veröffentlichte er alsdann ein für den Betrieb im Grossen bestimmtes Verfahren für den in Rede stehenden Zweck.

Bei diesem Bellschen Entphosphorungsverfahren wurde das zuvor im Kupolofen geschmolzene oder auch unmittelbar aus dem Hochofen kommende flüssige Roheisen mit ebenfalls geschmolzenen oder doch gut vorgewärmten eisenoxydreichen Körpern — Hammerschlag, Frischschlacken, Eisenerzen — in möglichst innige Mischung gebracht und dann, nachdem die Einwirkung stattgefunden hatte, durch Abstechen von der leichteren phosphorsäurehaltigen Schlacke getrennt. Als Mischvorrichtung diente ein mit Eisenoxyden ausgefutterter, länglicher, trogartiger, oben überwölbter Behälter von etwa 4 m Länge, welcher sich wie ein Schwinghebel um zwei wagerechte Zapfen in schwingende Bewegung versetzen liess; eine Dampfmaschine diente dazu, diese Bewegung hervorzubringen. Das Schwingen wurde 10 Minuten lang wiederholt, wobei das Roheisen mit der zugesetzten Schlacke 60—80 Mal hin und her floss.

Es gelang auf diese Weise, graues Clevelandroheisen mit etwa 1,5 Hunderttheilen Phosphor in weisses Roheisen mit durchschnittlich 0,22 Hunderttheilen Phosphor und mitunter noch weniger umzuwandeln. Der Siliciumgehalt verringerte sich hierbei von 1,8 Hunderttheilen auf 0,05 Hunderttheile. Bei Verwendung gerösteter Clevelanderze als Entphosphorungsmaterial betrug der Verbrauch etwa 50 Hunderttheile von dem Gewichte des Roheisens.

Fast zu derselben Zeit, als Bell in England seine Versuche anstellte und deren Ergebnisse dem Iron and Steel Institute vorlegte, nahm Fr. Krupp in Essen ein Patent auf ein Entphosphorungsverfahren für Roheisen, welches auf ganz ähnlichen Grundsätzen beruhte (1877). Während jedoch Bell den Mangangehalt des Roheisens unberücksichtigt liess, empfiehlt Krupp ausdrücklich die Verwendung eines etwas manganhaltigen Roheisens. Der Mangangehalt soll hierbei eine doppelte Aufgabe erfüllen: er soll den Kohlenstoff vor Verbrennung schützen, und das entstehende Manganoxydul soll als kräftige Base die Neigung des Phosphors zur Oxydation erhöhen. Als Mischvorrichtung pflegte ein Pernotofen (Seite 156) benutzt zu werden.

1) Vergleiche Literatur.

Das Kruppsche Entphosphorungsverfahren ist in Essen und auf einigen nordamerikanischen Eisenwerken mehrere Jahre in Anwendung gewesen. Ueber den Verlauf der Entphosphorung geben folgende von Holley veröffentlichte Analysen Aufschluss [1]):

	C	Si	P	S	Mn	Cu
Roheisen von Eisenhütte Phönix . . .	3,30	0,39	0,74	0,09	2,32	0,14
4 Minuten nach dem Einsetzen	3,27	0,02	0,16	0,02	0,04	0,15
$5^1/_2$ „ „ „ „	3,27	0,01	0,14	0,02	0,12	0,14
7 „ „ „ „	3,32	0,02	0,10	0,03	0,06	0,14

Die erfolgende Schlacke enthielt:

SiO_2	FeO	MnO	Al_2O_3	CaO	P_2O_5
13,0	51,0	16,6	11,6	0,7	6,0

Ilseder Roheisen, welches unter Verwendung von Ilseder Erzen entphosphort wurde, enthielt:

	C	Si	P	Mn
Vor dem Einsetzen	2,50	0,25	2,92	2,61
Nach beendigtem Verfahren	2,40	Sp.	0,80	Sp.

und die entstandene Schlacke bestand aus:

SiO_2	FeO	MnO	Al_2O_3	CaO	MgO	P_2O_5
10,40	41,00	19,30	2,00	7,30	0,70	20,00

Die Kosten des Verfahrens betrugen für 1000 kg Roheisen 4 bis 6 M., wenn das Roheisen unmittelbar aus dem Hochofen in den Entphosphorungsofen gebracht werden konnte.

Sehr bald nach Einführung der Entphosphorungsverfahren von Bell und Krupp wurde ein Verfahren der Flusseisendarstellung erfunden, welches die Möglichkeit gewährte, auch das phosphorreichste Roheisen ohne irgend ein Vorbereitungsverfahren in sehr phosphorarmes schmiedbares Eisen zu verwandeln (Thomasverfahren, 1878 erfunden und in der dritten Abtheilung der Eisenhüttenkunde besprochen). Hierdurch waren jene Verfahren gegenstandslos geworden, noch bevor sie eine grosse Ausbreitung gefunden hatten.

D. Die Entschweflung des Roheisens.

Durch Oxydation ist, wie schon früher mitgetheilt wurde, eine Ausscheidung von Schwefel aus dem Roheisen nicht oder nur in sehr unbedeutendem Maasse erreichbar. Eine Entschweflung wird dagegen möglich, wenn das Roheisen der Einwirkung stark basischer, insbesondere kalkhaltiger Schlacken ausgesetzt wird (Seite 291) [2]); oder wenn man dem flüssigen Roheisen ein Metall zusetzt, dessen Ver-

1) Vergleiche Literatur. Die Analysen sind hier wiedergegeben, nicht weil das Verfahren noch Bedeutung besässe, sondern weil sie das chemische Verhalten des Roheisens bei der Behandlung mit Oxydationsmitteln unter den mitgetheilten Verhältnissen gut beleuchten

2) Den früheren Mittheilungen zufolge kann die entschwefelnde Wirkung kalkreicher Schlacken nur zur Geltung gelangen, wenn zugleich als dritter Körper

wandtschaft zum Schwefel grösser ist als die des Eisens, welches also das Schwefeleisen zerlegt, und dessen eigenes Sulfid im Eisenbade unlöslich ist. Als ein für diesen Zweck geeignetes Metall hat sich das Mangan erwiesen (Seite 293).

Schon auf Seite 625 wurde darauf hingewiesen, dass man beim Schmelzen schwefelreichen Roheisens in gewöhnlichen Kupolöfen durch reichlichen Kalksteinzuschlag im Stande sei, dem Roheisen einen Theil des Schwefelgehaltes zu entziehen und in die Schlacke zu führen. In dem mit Schamotteziegeln oder sonstigem kieselsäurehaltigen Material ausgesetzten Kupolofen wird indess die Bildung stark basischer Schlacken durch den Umstand erschwert, dass die Schlacken leicht Kieselsäure aus dem Ofenfutter auflösen. Mit grösserer Sicherheit darf man daher auf Erfolg rechnen, wenn man das Schmelzen in einem Kupolofen ausführt, dessen Schmelzraum mit basischen feuerfesten Materialien, z. B. Magnesiaziegeln, ausgesetzt ist.

Sehr kalkreiche Schlacken aber sind zugleich sehr strengflüssig; sie werden leichter schmelzbar, wenn man einen Theil des Kalksteines durch Flussspath ersetzt (Seite 186). Nach Rollet, welcher im basischen Kupolofen auf dem Eisenwerke Givors Entschweflungsversuche durch Kalkstein- und Flussspathzusatz durchführte [1]), kann man zum Zwecke der Entschweflung auf 1000 kg Roheisen etwa 80 kg Kalk und 25 kg Flussspath zuschlagen; ist auch eine theilweise Entphosphorung durch Einwirkung des Windstromes auf das geschmolzene Eisen beabsichtigt, so muss der Kalk- und Flussspathzusatz erhöht werden. Dass auf diese Weise eine starke Entschweflung möglich sei, wird durch nachstehende, von Rollet veröffentlichte Analysen erwiesen:

	C	Si	Mn	S	P
1. Probe					
Vor dem Schmelzen	3,50	0,90	1,30	0,22	0,07
Nach „ „	3,50	0,38	0,81	0,01	0,05
2. Probe					
Vor dem Schmelzen	2,90	0,65	Sp.	0,37	0,35
Nach „ „	3,08	0,06	„	0,01	0,07
3. Probe					
Vor dem Schmelzen	2,55	0,45	„	0,52	1,95
Nach „ „	2,80	0,12	„	0,04	0,41

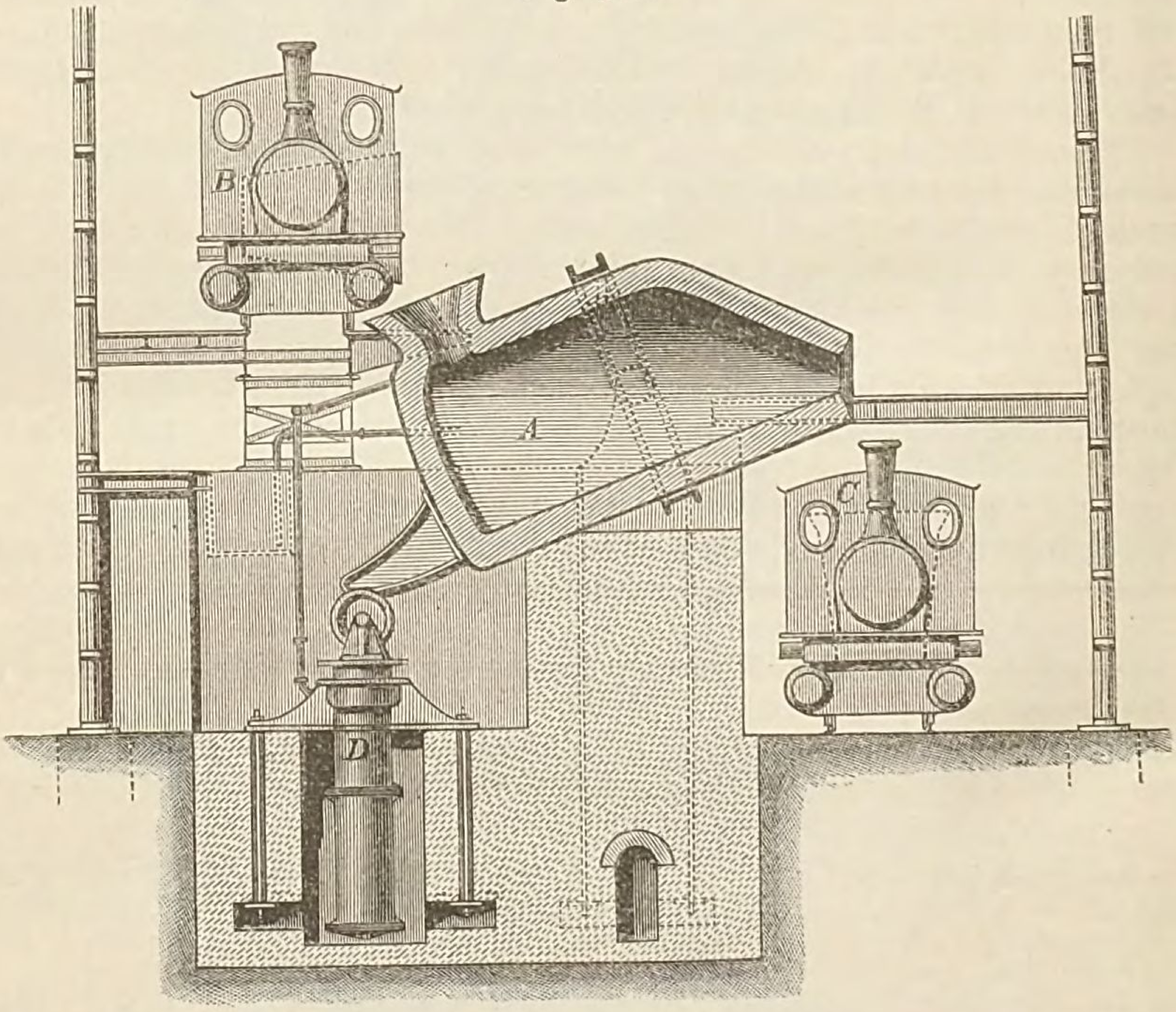
Die nachgewiesene Möglichkeit, auf diese Weise eine theilweise Entphosphorung herbeizuführen, ist aus den schon oben besprochenen Gründen für den Betrieb ohne Bedeutung; die stattfindende Entschweflung dagegen kann in manchen Fällen von Nutzen sein, wo man gezwungen ist, schwefelreiches Roheisen vor seiner weiteren Verarbeitung im Kupolofen umzuschmelzen.

Kohlenstoff zugegen ist. Bei Einwirkung basischer Schlacken auf Roheisen kann dessen eigener Kohlenstoffgehalt die Rolle übernehmen; je kohlenstoffärmer aber das Eisen ist, desto weniger wirksam erweisen sich die basischen Schlacken. Flusseisen kann im Flammofen stundenlang mit kalkreichen Schlacken in Berührung bleiben, ohne Schwefel zu verlieren.

1) Vergleiche Literatur.

Die Anwendung metallischen Mangans als entschwefelnden Mittels findet seit 1890 in grossem Maassstabe bei dem Eisenwerk Hörde statt[1]), um dem vom Hochofen kommenden, für die unmittelbare Verarbeitung durch das Thomasverfahren bestimmten Roheisen seinen Schwefelgehalt zu entziehen. Solches Roheisen, reich an Phosphor und arm an Silicium, wird bei ziemlich niedriger Temperatur des Hochofens erblasen. Enthält es 1,5 bis 2 Hunderttheile Mangan, so scheiden sich schon beim längern Stehen im Herde und beim Fliessen nach dem Abstechen schwefel- und manganreichere Verbindungen ab (auf Seite 293 ausführlicher besprochen); je mehr Roheisen aber der Hoch-

Fig. 177.



ofen erzeugt, je öfter also abgestochen werden muss, desto kürzere Zeit ist dem Roheisen für diese Schwefelabscheidung im Hochofen gegeben. Sinkt jedoch zufällig einmal die Temperatur im Hochofen, so wird das Roheisen ohnehin manganärmer und schwefelreicher. Zur Erlangung eines gleichmässig zusammengesetzten Roheisens mit stets niedrigem Schwefelgehalte mischt man demnach in einem ausreichend geräumigen Behälter mehrere Abstiche des Hochofens, oder besser mehrerer Hochöfen, manganarmes und demnach schwefelreiches Roheisen mit manganreicherem, und überlässt das Gemisch längere Zeit, mindestens 20 Minuten, sich selbst. An der Oberfläche bildet sich

1) D. R.-P. Nr. 54976.

eine mangan- und schwefelreiche Schlacke, welche durch Abziehen entfernt werden kann, und das Roheisen verliert den grössten Theil seines Schwefelgehaltes.

In Fig. 177 ist die zum Mischen dienende Vorrichtung abgebildet. *A* ist der Behälter zur Aufnahme des Roheisens; sein Fassungsraum beträgt 70 bis 80 t Roheisen. Er ist mit Schamotteziegeln ausgemauert und mit zwei Zapfen drehbar aufgehängt. *B* ist die auf einer Hochbahn laufende, vom Hochofen kommende Lokomotive, welche das in einer Pfanne befindliche Roheisen zuführt; durch Kippen der Pfanne findet die Entleerung in den Behälter statt, wie in der Abbildung angedeutet ist. *C* ist eine zweite Lokomotive mit Pfanne, welche das entschwefelte Roheisen aufnimmt und der Thomashütte zuführt. Das Ausgiessen des Roheisens aus dem Behälter *A* in die Pfanne der Lokomotive *C* erfolgt mit Hülfe des hydraulischen Cylinders *D* in der aus der Abbildung leicht erkennbaren Art und Weise. Da von dem Inhalte des Mischbehälters stets nur ein Theil mit einem Male zur Verarbeitung gelangt und inzwischen wiederkehrend frisches Roheisen nachgefüllt wird, bleibt die Zusammensetzung ziemlich gleichmässig. Die bedeutende Menge des in dem Behälter anwesenden Eisens verzögert zugleich die Abkühlung, so dass auch bei stundenlangem Stehen das Roheisen noch ausreichend flüssig bleibt.

Die stattfindende Entschweflung ist, sofern der Mangangehalt des Roheisens nicht unter 1,5 Hunderttheile sinkt, erheblich. Da das Ein- und Ausgiessen stattfindet, ohne dass Entleerung des Mischgefässes eintritt, kann man ein Bild der eintretenden Veränderungen nur erhalten, wenn man die durchschnittliche Zusammensetzung einer grösseren Zahl Proben des eingegossenen Roheisens der durchschnittlichen Zusammensetzung einer ungefähr gleich grossen Zahl Proben des in derselben Zeit ausgegossenen Roheisens gegenüberstellt. Nachstehende Ziffern sind in dieser Weise ermittelt worden:

	Silicium	Phosphor	Mangan	Schwefel
Mittelwerthe von 15 an einem Tage genommenen Proben des vom Hochofen kommenden Roheisens verschiedener Abstiche[1]	0,24	2,22	2,70	0,137
Mittelwerthe von 15 an demselben Tage genommenen Proben des entschwefelten Roheisens	0,23	2,13	2,42	0,038
Mittelwerthe von 13 Proben des vom Hochofen kommenden Roheisens verschiedener Abstiche an einem Tage[1]	0,31	2,16	2,16(?)	0,111
Mittelwerthe von 14 an demselben Tage genommenen Proben des entschwefelten Roheisens	0,27	2,02	2,16	0,040
Mittelwerthe von 23 im Laufe eines Monats genommenen Proben des vom Hochofen kommenden Roheisens[2]	n. best.	n. best.	n. best.	0,163
Mittelwerthe von ebensoviel gleichzeitig genommenen Proben des entschwefelten Roheisens	0,22	2,80	1,46	0,06

1) Persönliche Mittheilung.
2) Journal of the Iron and Steel Institute 1891, II, p. 80.

Je niedriger der Mangangehalt des aus dem Mischbehälter kommenden Roheisens ist, desto höher ist sein Schwefelgehalt, wie auch die vorstehenden Ziffern deutlich erkennen lassen. Bei 1 Hunderttheil Mangan im Roheisen ist der Schwefelgehalt durchschnittlich 0,09 Hunderttheile.[1])

Die entstehende Schlacke besitzt eine wechselnde Zusammensetzung. Ihr Schwefelgehalt kann zwischen 2 bis 17 Hunderttheilen schwanken und ist zum Theile davon abhängig, ob die Luft reichlichen Zutritt zu der flüssigen Schlacke fand oder nicht. In dem ersteren Falle wird Mangansulfür oxydirt und schweflige Säure entweicht. Beispiele der Zusammensetzung sind nachstehend gegeben:

	1.	2.	3.
SiO_2	18,90	35,70	n. best.
Al_2O_3	5,00	n. best.	2,46
MnO	20,23	36,38	45,22
MnS	28,01	14,11	19,02
FeO	25,46	5,01	6,78
CaS	3,53	—	—
CaO	—	n. best.	2,58
MgO	0,43	„ „	0,19
P_2O_5	n. best.	„ „	0,31

1. In Hörde erfolgte Schlacke („Stahl und Eisen" 1891, Seite 801).
2. In Hayingen erfolgte Schlacke (Journal of the Iron and Steel Institute 1892, I, p. 112).
3. In Oberhausen erfolgte Schlacke. Wie 2.

Literatur.

a) Grössere Werke.

Ueber Schmelzöfen für Roheisen.

E. F. Dürre, Handbuch des Eisengiessereibetriebes. 3. Auflage (Leipzig 1890), Bd. I, S. 475—654.

A. Ledebur, Handbuch der Eisen- und Stahlgiesserei. 2. Auflage (Weimar 1892), S. 78—149.

Ueber die älteren Verfahren zur Reinigung des Roheisens.

G. Wedding, Die Darstellung des schmiedbaren Eisens. Braunschweig 1875. S. 24.

b) Abhandlungen.

Ueber Schmelzöfen.

F. Fischer, Ueber Kupolöfen. Dinglers polyt. Journal, Bd. CCXXXI, S. 38.

A. Ledebur, Ueber Kupolöfen. Civilingenieur, Bd. XIII, Heft 8.

G. Ahlemeyer, Der Ibrüggersche Kupolofen. Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Bd. IX, S. 231.

H. Frey, Der Faulersche Kupolofen. Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. f. Steiermark und Kärnten 1881, S. 321.

Amerikanische Kupolöfen für Bessemerhütten. Dinglers polyt. Journal, Bd. CCXLI, S. 296 (aus Engineering 1880, S. 592).

A. Ledebur, Kupolofen mit Wasserkühlung. Berg- und hüttenm. Ztg. 1878, S. 150.

1) „Stahl und Eisen" 1891, Seite 800.

O. Gmelin, Ein neuer Kupolofen mit Wasserkühlung. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1882, S. 526; „Stahl und Eisen“ 1882, S. 306.

A. Ledebur, Das Kupolofenschmelzen in alter und neuer Zeit. „Stahl und Eisen“ 1885, S. 121.

Beckert, Kupolofen mit Dampfstrahl. „Stahl und Eisen“ 1886, S. 399, 557.

A. Gouvy, The construction of the cupolas. Engineering and Mining Journal, vol. XLVII, p. 161.

Wagner, Ueber den Bau von Gussflammöfen und deren Betrieb. Oesterr. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 1857, S. 115.

K. Wittgenstein und A. Kurzwernhart, Ueber die Fabrikation von Stahlschienen mit Braunkohlen in Teplitz (Siemens-Flammofen zum Roheisenschmelzen). „Stahl und Eisen“ 1883, S. 211.

Ueber Reinigung des Roheisens.

L. Bell, On the separation of carbon, silicon, sulphur and phosphorus in the refining and puddling furnaces. Journal of the Iron and Steel Institute 1877, p. 108, 322; deutsch bearbeitet in der Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. f. Steiermark und Kärnten 1877, S. 385.

L. Bell, On the separation of phosphorus from pig-iron. Journal of the Iron and Steel Institute 1878, p. 17.

J. E. Stead, Phosphor und Eisen. Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. f. Steiermark und Kärnten 1878, S. 67 (aus Iron).

A. Holley, Washing phosphoric pig-iron for the open-hearth process at Krupps works. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. VIII, p. 156; deutsch in der Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. f. Steiermark und Kärnten 1879, S. 413.

C. Petersen, Die Entphosphorung des Roheisens nach Krupps Patent. Wochenschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1880, S. 36.

P. Tunner, Der Hamoirprocess. Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. f. Steiermark und Kärnten 1878, S. 1.

A. Rollet, Le cubilot comme appareil épurateur des fontes. Bulletin de la société de l'industrie minérale 1882, p. 879; daraus in „Stahl und Eisen“ 1883, S. 305.

P. Tunner, Zur Abscheidung des Schwefels aus flüssigem Roheisen. Oesterr. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 1891, S. 205.

J. Massanez, On the elimination of sulphur from pig-iron. Journal of the Iron and Steel Institute 1891, II, p. 76.

G. Hilgenstock, Ueber das Schwefelabscheidungs-Verfahren. „Stahl und Eisen“ 1891, S. 798.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Druck von J. B. Hirschfeld in Leipzig.

BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Ledebur, Adolf,

Handbuch der Eisenhüttenkunde für den Gebrauch im Betriebe wie zur Benutzung beim Unterrichte bearbeitet

Bd.: 2

Leipzig 1893

BHS I C 256 a-2
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11558214-9